



TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU

# AURINKOSÄHKÖN HYÖDYNTÄMINEN PIEN- JÄNNITEVERKON ULKOPUOLISISSA PUMP- PAUSKAIVOISSA

Joni Koivula

Opinnäytetyö  
Huhtikuu 2016  
Talotekniikan koulutusohjelma  
Sähköinen talotekniikka



## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Talotekniikan koulutusohjelma  
Sähköinen talotekniikka

KOIVULA, JONI

Aurinkosähkön hyödyntäminen pienjänniteverkon ulkopuolisissa pumppauskaivoissa

Opinnäytetyö 49 sivua, joista liitteitä 3 sivua  
Huhtikuu 2016

---

Tämän opinnäytetyön aiheen ehdotus syntyi työelämän tarpeesta. Kekkilä Oy tarvitsee turvetuotantoalueillaan veden pumppauslaitteistoja tuotantoalueidensa kuivatukseen. Turvetuotantoalueet voivat sijaita kaukana pienjänniteverkosta, joten aurinkosähköllä toimiva pumppauslaitteisto voisi olla yksi vaihtoehto. Aihe on ajankohtainen, koska aurinkoenergian hyödyntäminen sähköntuotannossa tulee varmasti yleistymään vuosi vuodelta. Opinnäytetyön tarkoituksena oli tuottaa mitoitus sähköverkon ulkopuoliseen pumppauskaivoon, jolla pystyy siirtämään pieniä määriä turvetuotantoalueiden vesiä paikoissa, joissa maaston muodot estävät veden liikkumisen omalla painollaan. Järjestelmän mitoitus päädyttiin toteuttamaan käytettävissä olevien auringonpaistekeskiairvotilastojen perusteella, koska auringonpaistetta ei voida tarkemmin ennustaa.

Aiheeseen syventyminen alkoi erilaisiin aurinkokennoihin, lataussäätimiin ja akustoihin tutustumisella ja siten koko järjestelmän rakenteeseen perehtymisellä. Tässä vaiheessa alkoi hahmottua, millaisilla osilla aurinkosähköjärjestelmää alettaisiin suunnitella. Aurinkopaneeleiksi valikoituivat monikidepaneelit niiden pitkäikäisyyden ja hinta-laatusuhteen vuoksi. Lataussäätimeksi näihin tarpeisiin sopi parhaiten maksimitehopistettä seuraava lataussäädin, koska sen latausteho on noin 20 % parempi kuin perinteisellä pulssinleveysmodulaatioon perustuvalla lataussäätimellä. Akustoksi valikoitui suljettu lyijyakusto alhaisen itsepurkauksen, pienen sisäisen vastuksen ja erinomaisen varauksen vastaanottokyvyn vuoksi. Suljettu lyijyakusto on myös palautumiskykyinen syväpurkauksen jälkeen. Pumpun valintaan vaikutti eniten pumpun energiankulutus ja pumppausominaisuudet, koska turvetuotantoalueiden vesissä voi pumppuun kulkeutua myös kiintoaineita.

Työn tavoitteet saavutettiin, koska työssä tuotettiin mitoitus aurinkosähköjärjestelmästä, jolla tavoiteltu pumppaus pystytään toteuttamaan. Tätä opinnäytetyötä voidaan jatkossa hyödyntää aurinkosähköjärjestelmien suunnittelussa, koska samat perusteet pätevät niin turvetuotantoalueilla kuin mökkiympäristöissä. Aurinkopaneeleiden ja akuston mitoitus on tehtävä huolellisesti todellisen kuormituksen mukaan toimivan lopputuloksen saavuttamiseksi.

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Building Services Engineering  
Electrical Building Services

KOIVULA, JONI

Utilising solar power for in off grid water pumping wells

Bachelor's thesis 49 pages, appendices 3 pages  
April 2016

---

The proposal for this thesis topic arose from the need of a working life. Kekkilä Ltd needs water pumping systems for drying peat production areas. Peat production areas can be located far away from the electricity network, and so a solar-powered pumping system could be an option. The topic is current because the use of solar energy for electricity generation is likely to be increasingly popular had to be taken into account. The purpose of this thesis was to dimension a solar powered water pumping station which is capable of transferring small amounts of water at peat production areas. The pumping station would be used in places where the terrain prevents water flow by gravity. The most challenging part of the thesis was dimensioning the system, because you can never know how much the sun is shining during a given day. Finally, the dimensioning had to be done by using an average forecast.

The study of the topic started with exploring the basic structure of the system which means solar panels, charge controllers and batteries. When basic information was collected it was easier to decide what kind of parts system will be designed. In the planning of the system the compatibility of solar panels, charge controllers and batteries had to be taken into account. Selection of the pump affected the energy consumption and pumping characteristics because the water in peat production can be dirty.

The objectives were achieved because dimensioned system is able to pump designed amount water. This thesis will be of assistance later at working life, because solar power technique is same at peat production area electrical systems and cottage electrical systems. Solar powered electrical systems have to be sized carefully with the actual consumption to achieve a functional system.

---

Key words: solar energy, solar power

## SISÄLLYS

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | JOHDANTO.....                                       | 6  |
| 2     | KEKKILÄN TURVETUOTANTO .....                        | 7  |
| 3     | AURINKO ENERGIANLÄHTEENÄ.....                       | 8  |
| 3.1   | Aurinkoenergia .....                                | 8  |
| 3.2   | Auringon säteily.....                               | 8  |
| 3.3   | Aurinkoenergian potentiaali Suomessa.....           | 9  |
| 3.4   | Säteilystä sähköksi .....                           | 11 |
| 4     | AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄ.....                        | 12 |
| 4.1   | Järjestelmän perusrakenne .....                     | 12 |
| 4.2   | Aurinkopaneelit .....                               | 13 |
| 4.2.1 | Yksikiteinen piikennopaneeli.....                   | 14 |
| 4.2.2 | Monikiteinen piikennopaneeli.....                   | 15 |
| 4.2.3 | Ohutkalvopaneeli .....                              | 15 |
| 4.3   | Aurinkopaneeleiden sijoitus ja suuntaus.....        | 16 |
| 4.4   | Aurinkopaneelin tehontuotto .....                   | 17 |
| 4.5   | Lataussäädin.....                                   | 20 |
| 4.6   | Akusto .....  | 21 |
| 4.7   | Vaihtosuuntaaja .....                               | 22 |
| 4.8   | Kaapelointi.....                                    | 23 |
| 5     | PUMPPAAMOJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU JA MITOITUS ..... | 25 |
| 5.1   | Mitoituksen lähtötiedot .....                       | 25 |
| 5.2   | Pumpun vedentuotto ja energiankulutus .....         | 26 |
| 5.3   | Invertterin valinta.....                            | 28 |
| 5.4   | Paneeleiden mitoitus .....                          | 29 |
| 5.5   | Akuston mitoitus .....                              | 32 |
| 5.6   | Lataussäätimen valinta.....                         | 33 |
| 5.7   | Kaapeleiden mitoitus .....                          | 34 |
| 5.8   | Maadoitus.....                                      | 36 |
| 5.9   | Suunnitelman yhteenveto.....                        | 37 |
| 6     | JÄRJESTELMÄN HUOLTO JA KUNNOSSAPITO .....           | 39 |
| 7     | POHDINTA.....                                       | 40 |
|       | LÄHTEET.....  | 42 |
|       | LIITTEET .....                                      | 46 |
|       | Liite 1. Pumpun mitoituslaskelma.....               | 47 |
|       | Liite 2. Putkiston mitoituslaskelma.....            | 49 |

**ERITYISSANASTO**

|            |   |
|------------|---|
| AGM        | Absorbent Glass Mat. Akkutyyppi, jossa elektrolyytti on imeytetty lasivillaerottimeen.  |
| Atsimuutti | Horisontaalitasen kulma, tai suuntakulma, jonka muodostavat referenssisuunta ja suunta kohti annettua pistettä horisontissa. Atsimuutti ilmaistaan asteissa ja mitataan tavallisesti myötöpäivään pohjoissuunnasta. |
| c-Si       | Crystalline silicon. Aurinkokennomateriaali, yksikiteinen pii.  |
| MPPT       | Maximum Power Point Tracking. Ohjausyksikkötekniikka, jossa akkujen latausvirta ja jännite pyritään pitämään optimaalisena.   |
| p-Si       | Polycrystalline silicon. Aurinkokennomateriaali, monikiteinen pii.  |
| PWM        | Pulse-Width Modulation. Ohjausyksikkötekniikka, jossa akkujen latausvirtaa pätkitään tarpeen mukaan.  |
| STC        | Standard Test Conditions. Aurinkopaneelien standardiolosuhteissa tehty maksimitehon määrittäminen.  |
| Zeniitti   | Zeniittikulma tarkoittaa paneelien suuntaamista pystysuorasta linjasta.   |

## 1 JOHDANTO

Uusiutuvan energian hyödyntäminen nykypäivänä yleistyy koko ajan. Tämän kehityksen ohjautumiseen on vaikuttanut suuresti aurinkoenergialaitteistojen tekniikan kehittyminen ja yleistyminen, jonka ansiosta myös laitteistojen hankintakustannukset ovat tulleet edullisimmiksi vuosi vuodelta. Uusiutuvan energian hyödyntäminen kiinteän sähköverkon rinnalla on huolettomampaa kuin puhtaan saarekeverkon rakentaminen, joka vaatii huolellisen mitoituksen sen vuoksi, että sähköä on oltava saatavilla akustoista myös silloin kun aurinko ei paista. Tässä työssä keskitytään nimenomaan saarekeverkon mitoitukseen ja suunnitteluun.

Työn tavoitteena on suunnitella aurinkosähköllä toimiva laitteisto, jota voidaan käyttää Kekkilä Oy:n turvetuotantoalueilla veden pumppaamisessa pienjänniteverkon ulkopuolella. Suunnittelu on rajattu aurinkosähkölaitteistoon, jolla pumppaukseen tarvittava energia saadaan tuotettua. Työssä ei suunnitella tarkemmin laitteiston pohjana toimivaa asennusympäristöä. Työssä käydään aluksi läpi teoriaa aurinkoenergian potentiaalista ja aurinkokennojen toimintaperiaatteesta. Tämän jälkeen työssä käsitellään aurinkosähköjärjestelmän perusrakenne ja syvennyttään järjestelmän osien ominaisuuksiin. Lopuksi työssä esitetään kohta kohdalta järjestelmän suunnittelun ja mitoituksen eri vaiheet.

Suunnittelun järjestelmän laitevalintojen jälkeen työssä esitetään suuntaa antava kustannusarvio laitteiden hankinnasta. Tämän kustannusarvion perusteella voidaan harkita, alentaanko suunniteltua laitteistoa rakentaa. Elinkaarikustannuksiin ja eri sähköntuotantomuotojen vertailuun työssä ei syvennyttä, koska kyseessä on pilot-laitteisto.

## 2 KEKKILÄN TURVETUOTANTO

Kekkilä Group on puutarha-alan pohjoismainen markkinajohtaja kasvualusta-, lannoite- ja katetuotteissa. Suomessa, Euroopassa ja Venäjällä Kekkilä Oy toimii Kekkilä-brändillä. Ruotsissa, Norjassa ja Tanskassa Kekkilän tuotteita markkinoidaan Hasselfors Garden -nimellä. (Kekkilä Group 2016).

Konserni kehittää, valmistaa ja markkinoi puutarha-alan korkealaatuisia kasvualustoja, kasviravinteita ja katemateriaaleja sekä kotipuutarhan ja pihan rakentamisen tuotteita harrastajille, ammattiviljelijöille ja viherrakentajille. Liiketoiminta jakautuu kolmeen alueeseen: Home, Park ja Professional Growing. (Kekkilä Group 2016).

Vapo Oy:stä tuli Kekkilä Oy:n suurin osakkeenomistaja 1.7.1994 tapahtuneen Kekkilän ja Vapon kasvuturveliiketoiminnan toimintojen yhdistämisen jälkeen. Kekkilä Group koostuu seuraavista yhtiöstä: Kekkilä Oy (Suomi), Hasselfors Garden AB (Ruotsi), Hasselfors Garden A/S (Norja), Kekkilä Eesti Oü (Viro), Kekkilä Russia LLC (Venäjä), Andoy Torv AS (Norja) - omistus 60 %. (Kekkilä Group 2016).

Vuonna 2012 Kekkilä Oy hankki Vapo Oy:ltä tuotantoalueet omakseen varmistaakseen tuotteidensa korkealaatuisuuden aina tuotantoalueelta pussiin asti. Kekkilä Oy:lle on toiminnassaan ensiarvoisen tärkeää, että koko tuotantoketju toimii vastuullisesti ja ympäristöystävällisesti. (Viitanen Riku, Kekkilä Oy).

Kekkilä Oy:llä on turvetuotantoalueillaan monia erityyppisiä tarpeita sähkölle ja usein kiinteän sähköverkon rakentaminen tulisi hankkeena turhan suureksi ja kalliiksi johtuen suurista etäisyyksistä sähkön käyttöpaikkojen välillä. Varsinaiset pääpumppaamot tarvitsee liittää kiinteään sähköverkkoon johtuen pumppujen suurista tehoista, mutta vähemmän tehoa tarvitsevia tarpeita voitaisiin toteuttaa myös aurinkoenergialla. Tällaisia tarpeita ovat mm. pienitehoiset pumppaamot, siirrettävät vesien määrän ja laadun anturipaketit, soiden valumavesien virtaamien mittaus ja tallennus, hälytyksien jälleenanto ja muu reaaliaikainen datan siirto. Lisäksi aurinkosähköä voitaisiin hyödyntää esimerkiksi soille johtavien teiden puomien ohjauksissa, joissa on tällä hetkellä perinteisiä mekaanisia puomeja, jotka lukitaan munalukoilla.

### 3 AURINKO ENERGIANLÄHTEENÄ

Aurinkoenergia on uusiutuvaa energiaa, jota hyödynnetään sähköenergiana tai lämpöenergiana. Tässä luvussa käsitellään aurinkoenergian potentiaalia ja auringon säteilyn muuttamista sähköksi.

#### 3.1 Aurinkoenergia

Aurinkoenergiaa voidaan hyödyntää joko passiivisesti tai aktiivisesti. Passiivista hyödyntämistä on auringon valon ja lämmön käyttäminen suoraan ilman erillistä laitetta. Aktiivisessa hyödyntämisessä auringonsäteily muunnetaan joko sähköksi aurinkopaneeleilla tai lämmöksi aurinkokeräimillä. Aurinkoenergia on uusiutuvaa energiaa ja se on energiantuottaja, joka ei tuota lainkaan CO<sub>2</sub>-päästöjä. Päästöjä ja jätettä aurinkoenergian hyödyntämisessä syntyy vain siihen liittyvien laitteiden valmistuksessa ja kierrätyksessä. (Suomen Aurinkoenergia Oy 2016).

#### 3.2 Auringon säteily

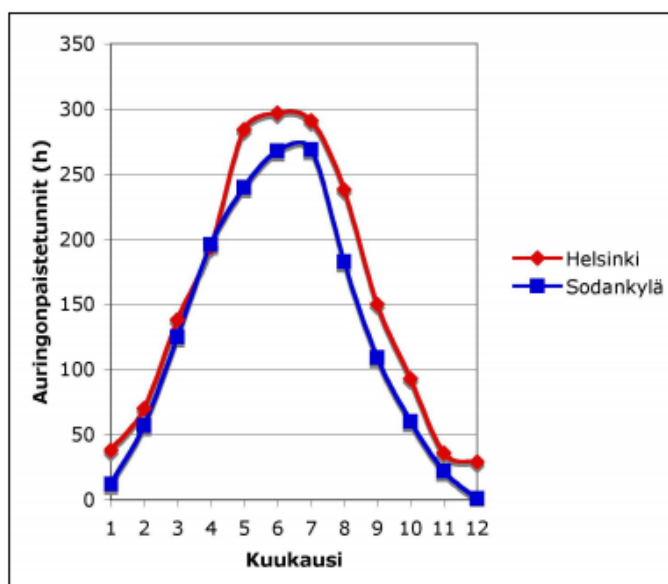
Auringon säteily koostuu suoraan auringosta tulevasta säteilystä ja hajasäteilystä. Hajasäteily koostuu ilmakehän ja pilvien heijastamasta säteilystä sekä maasta heijastuvasta hajasäteilystä. Suomessa hajasäteilyn määrä kokonaissäteilystä on hyvin merkittävä, esimerkiksi Etelä-Suomessa noin puolet vuosittaisesta säteilystä on hajasäteilyä. Kirkkaalla ilmalla hajasäteilyn osuus on noin 30 %, puolipilvisellä 70 % ja pilvisellä säällä hajasäteilyn osuus on 100 %. Auringon säteilyn hyödyntämisessä aurinkosähköjärjestelmissä on yhdentekevää, onko säteily suoraa säteilyä vai hajasäteilyä. Tuotetun sähkön määrä on kuitenkin sitä pienempi, mitä enemmän säteily koostuu hajasäteilystä. (Motiva, Auringon säteilyn määrä Suomessa 2015).

Auringon ollessa lähellä horisonttia (auringon lasku tai nousu) säteilyn voimakkuus on pieni, koska säteily kulkee pitkän matkan ilmakehässä. Ilmakehässä olevat kaasut absorboivat auringon säteilyä ja pienentävät siten maan pinnalle tulevan säteilyn määrää. Ohut pilvikerros ei haittaa merkittävästi maan pinnalle tulevaa säteilyä, koska pilvet pääosin sirottavat säteilyä eli muuttavat säteilyn suuntaa. Sen sijaan aamuisin esiintyvä utu ja vesihöyry pienentävät säteilyn määrää. (Suntekno Aurinkoenergia 2010, 4).



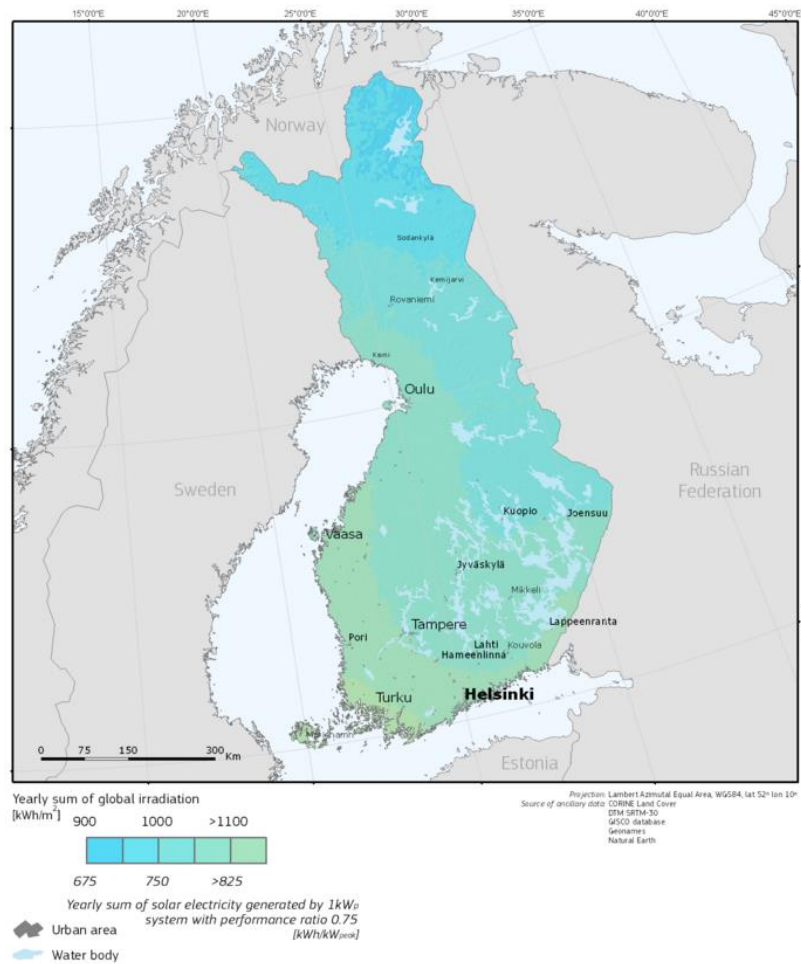
### 3.3 Aurinkoenergian potentiaali Suomessa

Yleinen käsitys aurinkoenergian tehottomuudesta Suomessa on varsin väärä mielikuva, koska Etelä-Suomen vuotuinen kokonaissäteilyn määrä on lähes samaa suurusluokkaa kuin Pohjois-Saksassa. Täytyy kuitenkin muistaa, että Suomessa säteily keskittyy eteläisempää Eurooppaa enemmän kesäkuukausille, joten säteilyn määrä on suurimmillaan kesäkuukausina. (Motiva, Auringon säteilyn määrä Suomessa 2015). Kuvassa 1 on esitetty keskimääräiset auringonpaistetunnit Helsingissä ja Sodankylässä 1971-2000. Auringonpaistetuntien vaihtelu eri vuosina voi olla kymmeniä prosentteja. (Suntekno Aurinkoenergia 2010, 5).

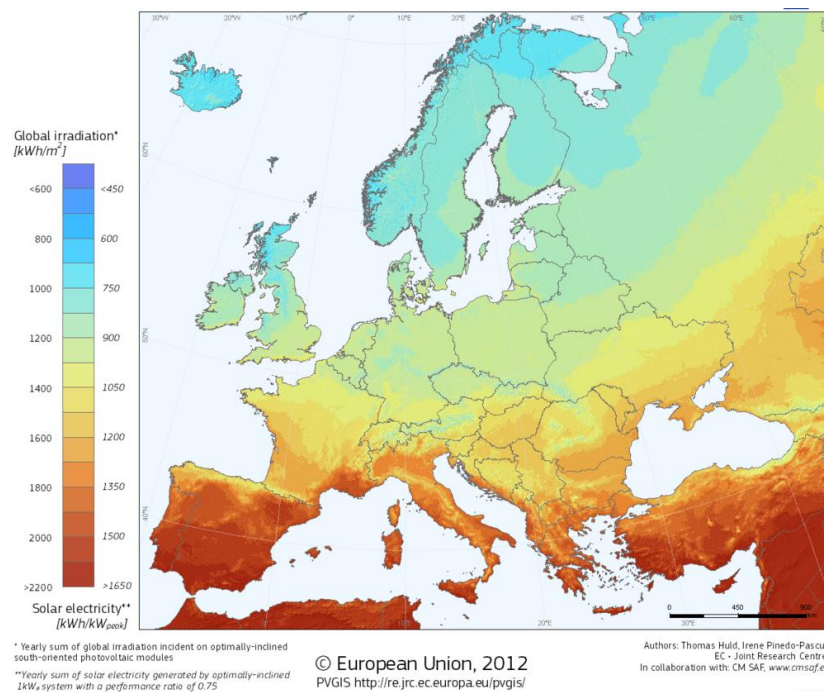


KUVA 1. Keskimääräiset kuukausittaiset auringonpaistetunnit Helsingissä ja Sodankylässä 1971- 2000 (Suntekno Aurinkoenergia 2010, 5)

Ilmatieteenlaitoksen testivuoden mukaan Helsingissä vuotuinen säteily määrä vaakasuoralle pinnalle on noin  $980 \text{ kWh/m}^2$  ja Sodankylässä noin  $790 \text{ kWh/m}^2$ . Kuvissa 2 ja 3 on esitetty Suomessa ja Euroopassa auringon säteilyn määrä optimaalisesti suunnatulle ja kallistetulle pinnalle. (Motiva, Auringon säteilyn määrä Suomessa 2015).



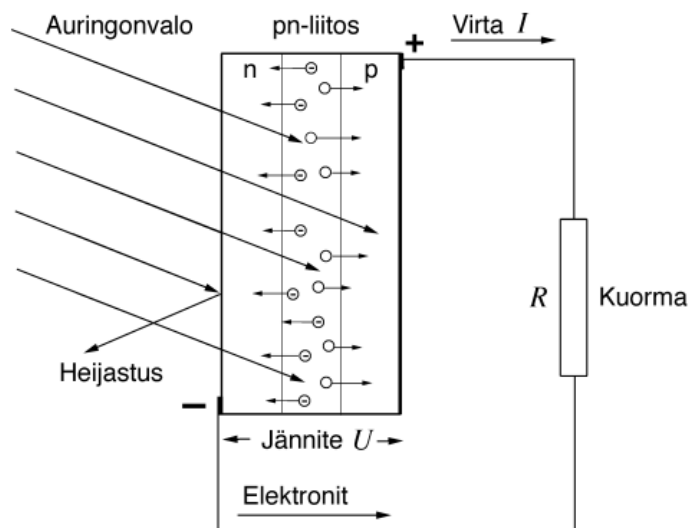
KUVA 2. Vuotuinen auringon säteily määrä optimaalisesti suunnatulle ja kallistetuille  $1\text{m}^2$  pinnalle (JRC Finland 2015)



KUVA 3. Vuotuinen auringon säteily määrä optimaalisesti suunnatulle ja kallistetuille  $1\text{m}^2$  pinnalle Euroopassa (JRC Europe 2015)

### 3.4 Säteilystä sähköksi

Aurinkopaneelit koostuvat sarjaan ja/tai rinnan kytketyistä aurinkokennoista, jotka suljetaan paneelikehykseen, jossa on etupuolella auringonsäteilyä läpäisevä suojalasi. Aurinkokennot ovat puolijohdemateriaalia, joissa on pn-rajapinta. Auringonsäteilyn muuttuminen sähköksi tapahtuu siten, että fotoneiden osuessa aurinkokennoihin ne luovuttavat energiansa kennojen materiaalin elektroneille, eli muodostavat elektroni-aukkopareja. Pn-liitoksen lähellä muodostuvista pareista elektronit kulkeutuvat n-puolelle ja aukot p-puolelle (kuva 4) synnyttäen rajapinnan yli potentiaalieron eli jännitteen. (Suntekno aurinkopaneelit 2010, 1).



KUVA 4. Aurinkokennon pn-rajapinta. (Suntekno Aurinkopaneelit 2010, 1)

Yhden aurinkokennon tuottama jännite on 0,5-0,6 V. Erilaisilla kennojen sarjaan- ja rinnankytkennöillä saadaan muodostettua kulloinkin tarvittavan suuruinen jännite ja virta. Usein käytetään 36 kennon paneeleja, jolloin saadaan noin 18 voltin jännite, joka on riittävän suuruinen jännite 12 voltin akkujen lataamista varten. (Suntekno Aurinkopaneelit 2010, 3).

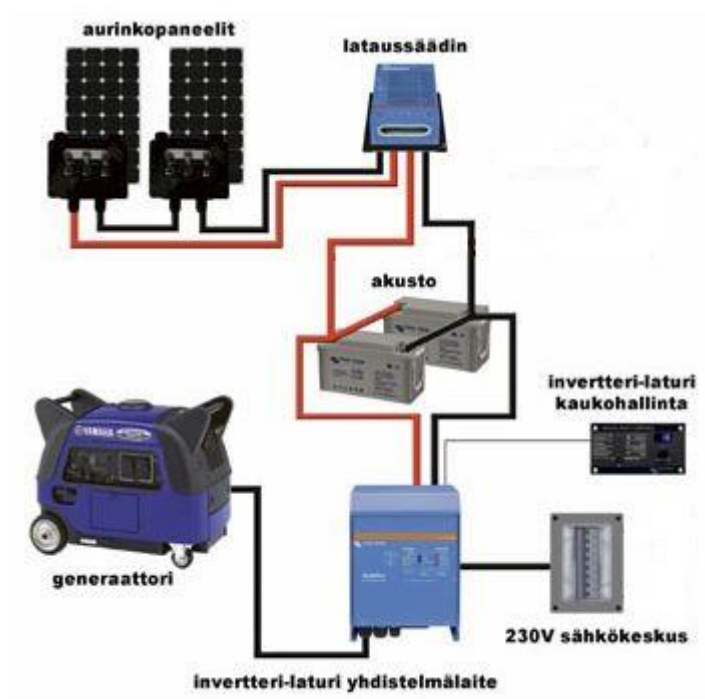
Aurinkopaneelien tuottama tasasähkö voidaan hyödyntää kohteesta riippuen joko tasasähkönä laitteissa, jotka toimivat suoraan tasasähköllä, tai tasasähkö voidaan muuttaa invertterin avulla vaihtosähköksi ja hyödyntää vaihtosähköllä toimivissa laitteissa. Yleisesti paneelien tuottama sähkö varataan saarekejärjestelmissä akkuihin, joista sitä puretaan käyttöön tasa- tai vaihtosähkönä. (Motiva Auringosta sähköä 2014).

## 4 AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄ

Aurinkosähköjärjestelmien rakenne on yleensä kohteesta riippumatta hyvin samankaltainen. Pienemmissä järjestelmissä tasajännitettä ei tarvitse muuttaa vaihtojännitteeksi, mikäli tavanomaisia 230 V AC laitteita ei tarvita. Tämä luku käsittelee saarekejärjestelmän rakennetta tarkemmin oikeanlaisen paketin suunnittelemista silmällä pitäen.

### 4.1 Järjestelmän perusrakenne

Tyypillinen saarekeaurinkosähköjärjestelmä koostuu kuvan 5 mukaan aurinkopaneeleista, lataussäätimestä, akustosta, invertteristä, sähkökeskuksesta ja näiden välisestä kaapeloinnista. Matalasta jännitteestä johtuen häviöt kasvavat helposti hyvin suuriksi, joten tämän vuoksi kannattaa panostaa laadukkaisiin järjestelmän osiin, jotka toimivat korkealla hyötysuhteella.



KUVA 5. Tyypillisen aurinkosähköjärjestelmän rakenneosat (Eurosolar 2016)

## 4.2 Aurinkopaneelit

Aurinkokennot ovat aurinkosähköjärjestelmien keskeinen osa. Aurinkopaneelit muodostuvat useasta aurinkokennosta, jotka ovat suljetun rakenteen sisällä lasin takana. Suljettu rakenne antaa paneeleille sääkestävyyttä ja voidaankin todeta, että mitä laadukkaammin paneeli on valmistettu, niin sitä pitkäikäisempi se on. Kaupalliset aurinkopaneelit voidaan käytännössä jakaa kolmeen eri päätyyppiin, jotka ovat ns. ensimmäisen sukupolven paneelit eli yksi- ja monikiteisistä piikkeennoista koostuvat paneelit sekä toisen sukupolven ohutkalvokennoista koostuvat paneelit. Tässä luvussa käsitellään tärkeimmät ominaisuudet kustakin tyypistä.

Aurinkopaneelien elinikä vaihtelee valmistajasta riippuen 20–30 vuoden välillä. Tyypillisesti paneeleille ilmoitetaan tehontuottotakuu, joka voi olla esimerkiksi 10 vuotta 90 % ja 25 vuotta 80 %. Tämä tarkoittaa sitä, että paneeli tuottaa 10 vuoden kuluttua 90 % nimellistehosta ja 25 vuoden kuluttua 80 % nimellistehosta. (Motiva aurinkosähköjärjestelmän teho 2014).

Eri aurinkopaneeleita vertailtaessa paneelien tehot annetaan tietyissä olosuhteissa, jotta niitä voidaan vertailla keskenään. Valmistajat ilmoittavat paneelien nimellistehon näissä olosuhteissa ( $W_p$ = Watts peak). Nämä standardiolosuhteet (STC= Standard Test Conditions) ovat:

- Auringon säteilyvoimakkuus  $1000\text{W/m}^2$
- Paneelin lämpötila  $+ 25\text{ }^\circ\text{C}$
- Auringon spektri normitettu ilmamassalle 1,5. (Tällöin auringon sijainti on  $41,81^\circ$  horisontin yläpuolella.)

(Suntekno Tiesitkö tämän 2016).

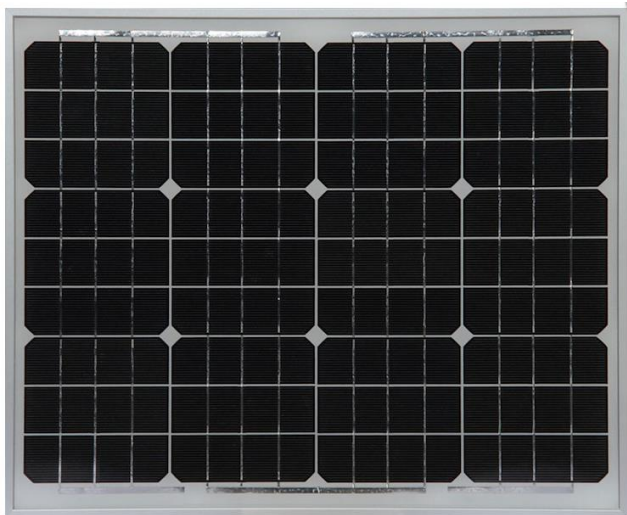
Paneelin arvokilvessä ilmoitetaan tyypillisesti seuraavat tiedot:

|  |   |
|--|---|
| Peak Power, $P_{\max}$                 | Maksimiteho.  |
| Maximum Power Current, $I_{\text{mp}}$ | Maksimivirta kuormitettaessa.   |
| Maximum Power Voltage, $V_{\text{mp}}$ | Maksimijännite kuormitettaessa.   |
| Short Circuit Current, $I_{\text{sc}}$ | Oikosulkuvirta, kun paneelin navat oikosuljetaan.                           |
| Open Circuit Voltage, $V_{\text{oc}}$  | Tyhjäkäyntijännite, napojen välinen jännite kun kuormitusta ei ole kytketty |

Standardiolosuhteita ei käytännössä saavuteta kovinkaan usein, koska paneelin lämpötila nousee auringonpaisteessa. Paneelin hyötysuhde pienenee noin 5 % kun paneelin lämpötila nousee 15 °C. Vastaavasti paneelin lämpötilan laskiessa hyötysuhde kasvaa. (Suntekno Aurinkopaneelit 2010, 7).

#### 4.2.1 Yksikiteinen piikennopaneeli

Yksikiteinen piikunno (c-Si) valmistetaan siten, että sulaan piihin kastetaan siemenkide, joka nostetaan hitaasti ja sula pii kiteytyy siemenkiteeseen. Noston aikana kidettä pyöritetään hitaasti kiteytymisen tasoittamiseksi. Pyörittämisen ansiosta piitangosta tulee pyöreä. Tämän jälkeen yksikiteiset piikennot leikataan neliskanttisiksi yhtenäisestä piiaihiosta, jonka halkaisija on 10 – 16 cm. Koska raaka-aine on hyvin kallista, pyöreistä kiskoista ei kannata tehdä täysin neliskulmaisia, vaan nurkat jätetään pyöreiksi materiaalihävikin minimoimiseksi. Kuvassa 6 on esitetty pienitehoinen yksikiteinen piikennopaneeli. (Finnwind Aurinkoenergiaopas 2013, 4).



KUVA 6. Yksikiteinen 45 W piikennopaneeli (Solar Innova 2016)

Yksikiteisen piikennon valmistus on tarkka ja hidas prosessi, jonka vuoksi yksikiteiset kennot ovat melko kalliita. Yksikiteiset kennot ovat piikunnoista toimintavarmimpia ja niiden hyötysuhde on noin 18 %. (Finnwind Aurinkoenergiaopas 2013, 4).

#### 4.2.2 Monikiteinen piikennopaneeli

Monikiteisissä piikennoissa (p-Si) kiderakenteet ovat silmin nähden sekaisia ja mosaiikkimaisia. Monikiteistä piitä valmistetaan sulattamalla piitä noin 1500 °C lämpötilassa, jonka jälkeen se jäähdytetään, jolloin jäähtyvä pii kiinteytyy muodostaen kiteitä. Raaka-aineena pystytään hyödyntämään myös valmiin aurinkokennon leikkauksesta yli jääneet osat, jolloin hävikki jää hyvin pieneksi. Monikiteisiä piikennoja leikataan samaan tapaan kuin yksikiteisiä kennoja, mutta neliskulmaisista aihioista, jolloin raaka aine saadaan käytettyä tarkemmin hyödyksi. Monikiteisten kennojen etuna ovat pienemmät materiaalikustannukset kuin yksikiteisillä kennoilla, vastaavasti kiteiden hajanaisuus huonontaa materiaalin ominaisuuksia ja hyötysuhdetta, joka on noin 15 %. Kuvassa 7 on esitetty pienitehoinen monikiteinen piikennopaneeli. (Finnwind Aurinkoenergiaopas 2013, 4).

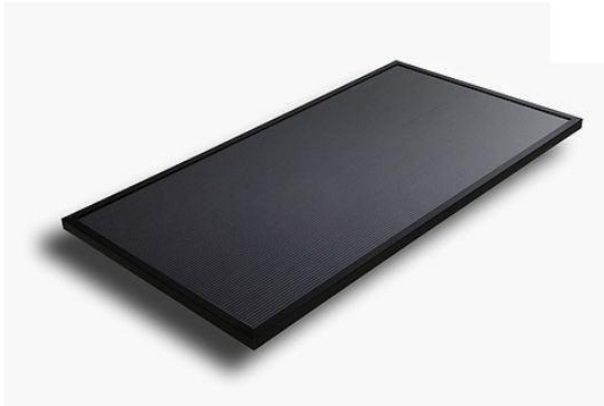


KUVA 7. Monikiteinen 45 W piikennopaneeli (Solar Innova 2016)

#### 4.2.3 Ohutkalvopaneeli

Ohutkalvokennojen valmistusprosessi eroaa merkittävästi ensimmäisen sukupolven kennojen valmistuksesta, koska leikkausprosessia ei tarvita, vaan puolijohdemateriaali muodostetaan suoraan tukirakenteena toimivan lasin päälle. Tällöin säästetään merkittävästi raaka-ainekustannuksia, mutta kennojen hyötysuhde jää hieman alhaisemmaksi kuin perinteisillä piikennoilla. Ohutkalvopaneelin (kuva 8) on oltava noin 60 % suurempi, kuin

monikiteisen piikennopaneelin saman tehon saavuttamiseksi. Ohutkalvokennot valmistetaan amorfisesta piistä, kupari-indiumdiselinidistä, kadmiumtelluurista tai galliumarsenidistä. (REPS Aurinkopaneelit).



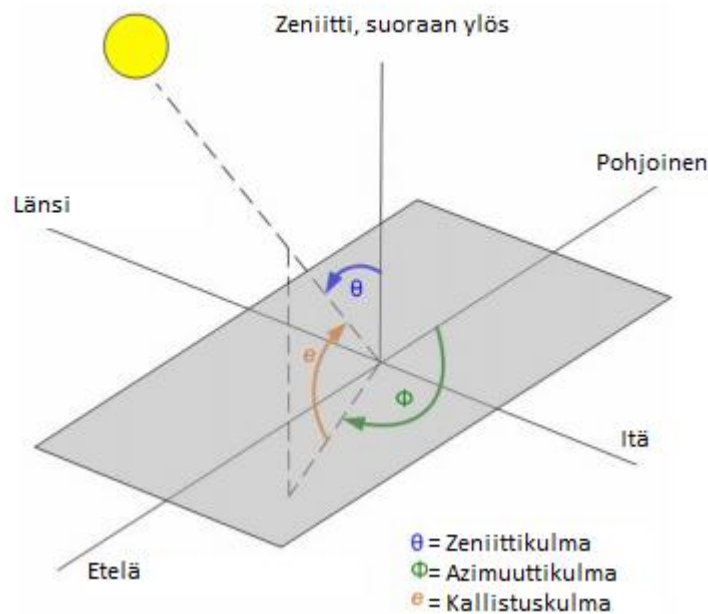
KUVA 8. 105 W Ohutkalvopaneeli (Eko Torppa 2016)

### 4.3 Aurinkopaneelien sijoitus ja suuntaus

Aurinkopaneelien paikkaa valittaessa on tärkeää kiinnittää huomiota siihen, että aurinko pääsee paistamaan paneeliin mahdollisimman pitkän ajan vuorokaudesta täysin varjottomasti. Paneelityypistä riippuen pienikin varjostus voi aiheuttaa sen, että koko paneelin sähköntuotanto romahtaa, koska paneelit koostuvat sarjaan kytketyistä kennoista. (Ilmastoinfo Aurinkopaneelien sijoittaminen ja suuntaus 2016).

Vuotuinen sähköntuotto on parhaimmillaan suunnattaessa paneelit etelään (atsimuuttikulma) noin 40 asteen kulmaan (kallistuskulma). Mikäli tuotto halutaan maksimoida kesäaikaan, niin kallistuskulma vaakatasoon nähden on 30 astetta ja talviaikaan 75 - 90 astetta. Talvella kulman on oltava suuri, koska aurinko paistaa matalalta ja lisäksi paneelin päälle satavan lumen on valuttava pois. Paneelien sähköntuotto heikkenee etelään päin suuntaukseen verrattuna noin 7 % suunnattaessa paneelit kaakkoon tai lounaaseen ja noin 25 % suunnattaessa itään tai länteen. Aurinkopaneelien suuntaamista koilliseen, luoteeseen tai pohjoiseen tulee välttää heikon sähköntuoton vuoksi. Kuvassa 9 on esitetty paneelien suuntaukseen liittyvät kulmat. (Ilmastoinfo Aurinkopaneelien sijoittaminen ja suuntaus 2016).





KUVA 9. Paneelien suuntauksen kulmat. (Rockwell Automation 2011)

Aurinkoa seuraavat paneelien suuntauslaitteistot nostavat paneelien tuottoa noin puoli-toistakertaiseksi vuositason, mutta ne myös kuluttavat energiaa ja aiheuttavat investointi- ja huoltokustannuksia, mikä voi tehdä niistä kannattamattomia. Seurantajärjestelmän taloudellisesta näkökulmasta vaikuttavat tekijät pitää punnita tapauskohtaisesti. Näitä tekijöitä ovat investointikustannukset, huollon/ ylläpidon tarve ja säteilyolosuhteet. (Motiva Aurinkopaneelien asentaminen 2014).

Paneelien sijoitus tulee tehdä siten, että paneeleita ei asenneta suoraan kiinni mihinkään sellaiseen rakenteeseen, joka estää paneelien taustan tuulettumisen. Paneelien lämpötila voi nousta kymmeniä asteita korkeammaksi, kuin ympäröivän ilman lämpötila. Tämä on haitallista tuoton kannalta, koska paneelien hyötysuhde laskee useita prosentteja lämpötilan noustessa. (Motiva Aurinkopaneelien asentaminen 2014).

#### 4.4 Aurinkopaneelin tehontuotto

Aurinkopaneelin ominaisuuksien perusteella voidaan laskea paneelin teho, paneelin tuottama energia ja paneelin hyötysuhde. Tässä luvussa esitetään kyseiset kaavat.

Aurinkopaneelin tuottama teho lasketaan kaavalla yksi.

$$P = U \cdot I, \quad (1)$$

jossa

P on teho (W)

U on jännite (V)

I on virta (A)

Aurinkopaneelin tuottama energia lasketaan kaavalla kaksi.

$$E = P \cdot t, \quad (2)$$

jossa

E on energia (Wh)

P on teho (W)

t on aika (h)

Aurinkopaneelin hyötysuhde lasketaan kaavalla kolme.

$$\eta = \frac{P}{S \cdot A} \cdot 100 \%, \quad (3)$$

jossa

$\eta$  on hyötysuhde (%)

P on teho (W)

S on auringon säteilyn voimakkuus ( $\text{W}/\text{m}^2$ )

A on paneelin pinta-ala ( $\text{m}^2$ )

Esimerkiksi kun paneelin virta on 5A ja jännite 15V, on paneelin tuottama teho 75W. Mikäli paneeli on Helsingissä ja auringon säteilyn voimakkuus on  $980\text{W}/\text{m}^2$  ja paneelin pinta-ala  $0,6\text{ m}^2$  hyötysuhteeksi muodostuu 13 %.

Paneeliin kytketty kuorma tai akusto ohjaa paneelin jännitteen, jota vastaavaan pisteeseen virta hakeutuu kulloistakin säteilyä ja lämpötilaa vastaavalla ominaiskäyrällä. Kuorman suuruus voidaan laskea ohmin laista kaavalla neljä.

$$R = \frac{U}{I}, \quad (4)$$

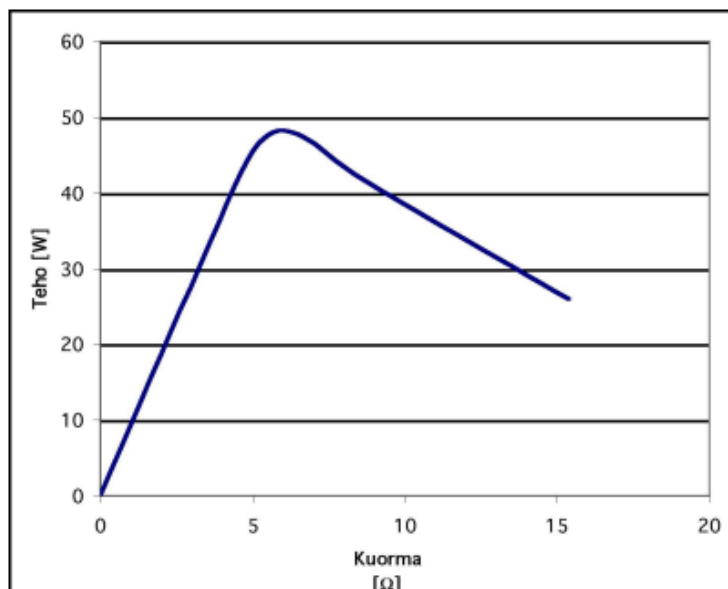
jossa

R on kuorman resistanssi ( $\Omega$ )

U on paneelin napajännite (V)

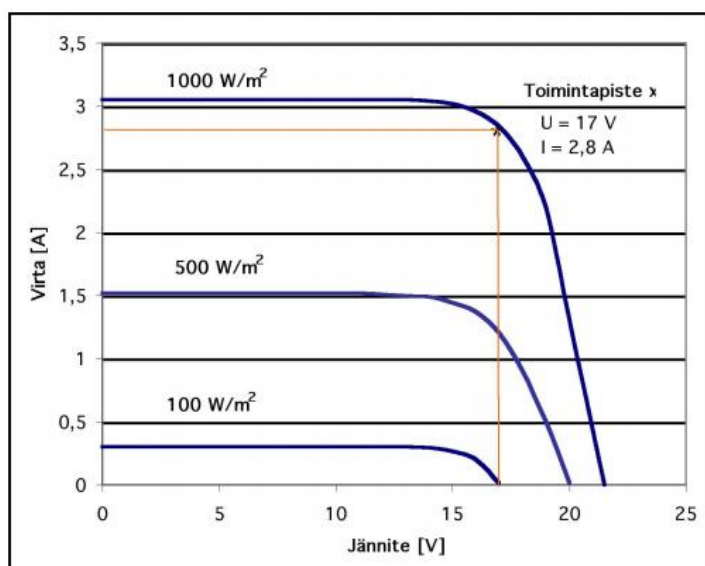
I on virta (A)

Kuvassa 10 on esitetty kuorman vaikutusta  $50W_p$  aurinkopaneelin tehoon. Kuvasta huomataan, että jos kuorman resistanssi on pieni, niin paneelin jännite jää pieneksi, eli myös teho jää pieneksi. Toisessa ääripäässä suuri resistanssi pienentää virtaa, jolloin teho jää pieneksi. Suurin teho saadaan paneelilta, kun kuorman resistanssi on sama kuin jännitteen ja virran suhde toimintapisteessä ( $17 V/2,8 A = 6\Omega$ ). Tämän vuoksi laadukkaaseen lataussäätimeen on syytä investoida. (Suntekno aurinkopaneelit 2010, 4).



KUVA 10. Kuorman vaikutus  $50 W_p$  aurinkopaneelin tehoon, kun auringonsäteilyn voimakkuus on  $1000 W/m^2$  (Suntekno aurinkopaneelit 2010, 4)

Aurinkopaneelin ominaiskäyrältä voidaan lukea millä virran ja jännitteen arvoilla se voi toimia. Toimintapistettä on käytännössä hyvin vaikea saavuttaa johtuen säteilyolosuhteiden muutoksesta ja paneelin lämpenemisestä. Kuvassa 11 on esitetty  $50 W_p$  aurinkopaneelin ominaiskäyrä eri auringonsäteilyn voimakkuuksilla. (Suntekno aurinkopaneelit 2010, 3).



KUVA 11. 50 W<sub>p</sub> aurinkopaneelin ominaiskäyrä eri säteilyvoimakkuuksilla lämpötilassa 25 °C (Suntekno aurinkopaneelit 2010, 3)

Aurinkopaneelin ominaiskäyrältä havaitaan, että säteilyn pieneneminen vaikuttaa lähes suorassa suhteessa paneelin tuottamaan virtaan ja pienentää myös jännitettä. Maksimitehopiste on merkitty kuvaan, ja se saavutetaan kyseessä olevalla aurinkopaneelilla virran ollessa 2,8 ampeeria. (Suntekno aurinkopaneelit 2010, 3).

#### 4.5 Lataussäädin

Lataussäätimen tehtävä on huolehtia akun sopivasta lataamisesta, eli se rajoittaa latausvirtaa ja suojaa näin akkua ylilatautumiselta. Säätimisiä on useita erilaisia, joiden toiminta perustuu esimerkiksi jännitteen mittaukseen, pulssileveyden modulaatioon ja lämpötilan kompensointiin tai näiden yhdistelmiin. Usein lataussäätimissä on myös akkujen syväpurkautumisen esto, joka toimii siten, että kuorma irtikytetään akkujen tyhjäntyessä. (REPS Lataussäädin ABC 2013, 1).

Lataussäätimien tulisi hallita latauksen kolme erilaista vaihetta, jotka ovat: tehollinen lataus (0-80 %), varauslataus (80-100 %) ja lepolataus, eli lataus silloin, kun akku on kuormittamattomana. Latausohjelmat kasvattavat akkujen elinkaarta huomattavasti. Toimintatase tulee sovittaa erityyppisten akkurakenteiden (avoimet, suljetut ja geeliakut) kanssa yhteensopiviksi. (REPS Lataussäädin ABC 2013, 1).

PWM-säätimien toiminta perustuu pulssileveyden säätöön, jossa seurataan akun varaustilaa. Kun akku saavuttaa 80 % varaustilan, virran syöttö alenee mutta jännitetaso pysyy vakiona. MPPT-säätimillä luvataan noin 30 % enemmän tuottoa, kuin PWM-säätimillä, koska säädin seuraa jatkuvasti maksimitehopistettä, eli se sovittaa jännitteen ja virran kulloinkin vallitsevien olosuhteiden mukaan optimaaliseksi. Kuvassa 12 on esitetty MPPT-säädin. (REPS Lataussäädin ABC 2013, 3- 6).



KUVA 12. EP Solar Tracer -lataussäädin (EP Solar 2016)

#### 4.6 Akusto

Akut toimivat aurinkosähköjärjestelmän energiavarastona. Yleisimmät akkutyypit ovat avoimet- ja suljetut lyijyakut ja geeli- eli hyytelöakut. Akkujen tyyppi tulisi harkita tarkkaan käytön mukaan, koska kaikki akkutyypit eivät siedä syväpurkausta, eli tilaa jossa akun varaustila on pienempi kuin 40 %. Geeliakut kestävät parhaiten syväpurkausta, kun taas avoimissa lyijyakuissa syväpurkautuminen aiheuttaa kennojen sulfiditoitumisen, joka estää akun täydellisen latautumisen jatkossa. Lyijyakkuja käytetään kuitenkin mielellästi hyvän hinta-suorituskyky-suhteen vuoksi. Suljetuilla lyijyakuilla eli AGM-akuilla (kuva 13) on laajin käyttölämpötila-alue ja pienin itsepurkaus, jonka vuoksi AGM-akut sopivat erinomaisesti aurinkosähköjärjestelmiin. (NA Clean Energy 2012).



KUVA 13. PowerXon Deep Cycle 250Ah -huoltovapaa akku (Thermosun akut 2016)

Akuston mitoituksessa on otettava huomioon akuston purkausnopeus, koska sillä on vaikutusta akuston hyötysuhteeseen. Akkuhäviöt riippuvat lataus- ja purkausvirroista suhteessa akkukapasiteettiin seuraavasti:

- jos lataus- ja purkausvirrat vastaavat koko ajan yli 20 tunnin lataus- ja purkausaikaa (alle 5 A/ 100 Ah), niin akkujen hyötysuhde on noin 95 %.
  - jos purkausvirta (tai latausvirta) toistuvasti alle 20 tunninpurkausaikaa vastaava (5 - 25 A / 100 Ah), niin akuston hyötysuhde on noin 90 %.
- (OAMK 2014, 8)

#### 4.7 Vaihtosuuntaaja

Vaihtosuuntaajan tehtävänä on muuttaa akuston tasajännite vaihtojännitteeksi, jolloin aurinkosähköjärjestelmässä voidaan käyttää myös tavallisia 230 VAC sähkölaitteita. Inverttereitä on saatavissa monen tehoisia muutamasta kymmenestä watista aina tuhansiin watteihin asti. Tyypillinen invertterin hyötysuhde on noin 80-90 % kuormituksen ollessa 25-100 % invertterin tehosta. (OAMK 2014, 7).

Markkinoilla on tarjolla myös erilaisia invertteri-laturi-yhdistelmiä (kuva 14). Ne toimivat siten, että akuston varaustilan laskiessa voidaan käynnistää ulkopuolinen aggregaatti, joka syöttää jännitteen invertteri-laturi-yhdistelmään, jonka sisäänrakennettu laturi lataa akustoa. Vaihtosuuntaajan ja akuston välinen kaapelointi on mitoittettava riittävän suureksi, koska ensiöpuolen virta kasvaa hyvin suureksi matalan jännitetason vuoksi.



KUVA 14. Victron Energy MultiPlus 3000W invertteri-laturi-yhdistelmä (Erikoistekniikka Invertterilaturi 2016)

#### 4.8 Kaapelointi

Aurinkosähköjärjestelmissä kokonaishyötysuhteen kannalta on hyvin tärkeää että DC-kaapelointi suunnitellaan ja toteutetaan huolellisesti. Matalan jännitteen vuoksi häviöt kaapeleissa kasvavat huomaamatta hyvin suuriksi, mikäli kaapelin mitoitus ei ole tehty oikein. Tehohäviöiden minimoimiseksi kaapelit mitoitetaan yleensä siten, että niissä häviöt eivät pääse kasvamaan yli 5 %. (Eurosolar Tuoteluettelo 2015, 26)

Kuparikaapelin häviöt voidaan laskea yhtälöllä viisi.

$$\text{Häviö (\%)} = 3,4 \cdot I \cdot l / A / U, \quad (5)$$

jossa

I on virta (A)

l on johtimen pituus (m)

A on johtimen poikkipinta-ala (mm<sup>2</sup>)

U on jännite (V)

Paneelilta säätimelle tulevan johtimen poikkipinta-ala lasketaan kaavalla kuusi.

$$A = (l \cdot I) / 32, \quad (6)$$

jossa

A on johtimen poikkipinta-ala (mm<sup>2</sup>)

l on johtimen pituus (m)

I on virta (A)

Säätimeltä tai akustolta kulutuslaitteelle tulevan kaapelin poikkipinta-ala lasketaan kaavalla seitsemän.

$$A = (l \cdot I)/16, \quad (7)$$

jossa

A on johtimen poikkipinta-ala (mm<sup>2</sup>)

l on johtimen pituus (m)

I on virta (A)

(Suntekno aurinkopaneelit 2010, 8-9).



## 5 PUMPPAAMOJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU JA MITOITUS

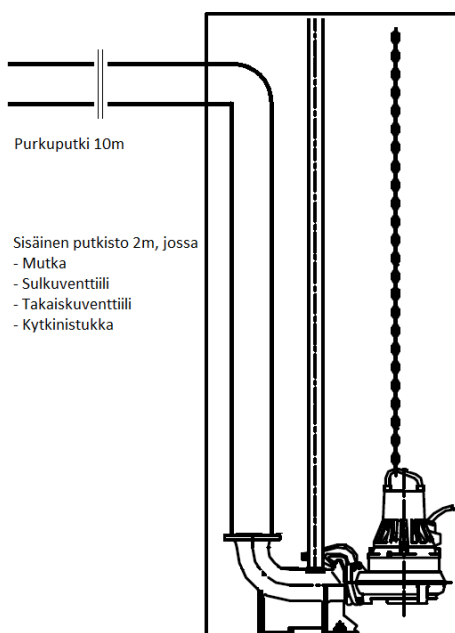
Suunnittelun ja mitoituksen tavoitteena oli tuottaa lähtötietojen perusteella turvetuotantoalueelle asennettavan pumppaamon sähkötekniset mitoitukset ja vertailla eri pumpputyyppeiden ominaisuuksia parhaan mahdollisen lopputuloksen saavuttamiseksi. Suunnittelussa ei perehdytty tarkemmin laitteiston asennusympäristöön, kuten akkujen ja muiden laitteistoon liittyvien osien sijoituspaikkaan.

### 5.1 Mitoituksen lähtötiedot

Aurinkosähköjärjestelmän mitoituksen lähtökohdat päätettiin yhdessä Kekkilän tuotantopäällikön Riku Viitasen ja LH Sähkön urakointipäällikkö Arto Laaksosen kanssa. Mitoitus tehtiin turvetuotantoalueelle asennettavalle aurinkosähköllä toimivalle pumppaamoyksikölle, jonka toiminta-aika on vuosittain toukokuun alusta elokuun loppuun asti. Pumppaustehoksi sovittiin 0,5l/s/ha ja alueeksi sovittiin 5 hehtaarin suuruinen ala, jolta vettä pumpataan. Pumpun nostokorkeudeksi sovittiin 2 metriä ja purkuputken pituudeksi 10 metriä. Akuston kapasiteettiä ei tässä vaiheessa vielä pohdittu tarkemmin.

Pumppaamon etävalvontaa varten järjestelmän mitoituksessa varauduttiin Ouman Ouflex-logiikkaan, jolla saadaan välitettyä valvomoon pumpun käyntitilatieto, pumpun käyttöaika, häiriöhälytykset, veden pinnan ylä- ja alarajahälytykset, sekä akuston vähäisen varaustilan hälytys. Logiikan toteutus rajattiin tämän työn ulkopuolelle, koska Kekkilä Oy:llä on jo kohteita, joihin logiikka on toteutettu.

Pumppaamon periaatteellinen poikkileikkaus on hahmoteltu alla olevassa kuvassa 15. Pumppaamon rakennetta ei suunniteltu tässä työssä tarkemmin, koska se ei ole oleellista aurinkosähkölaitteiston suunnittelun kannalta.



KUVA 15. Pumppaamokaivon periaatekuva.

## 5.2 Pumpun vedentuotto ja energiankulutus

Pumppaustehon ollessa 0,5 l/s/ha viiden hehtaarin suuruiselta alueelta on pumppaustehon oltava  $0,5 \text{ l/s/ha} \times 5 \text{ ha} = 2,5 \text{ l/s} = 216 \text{ m}^3/\text{vuorokausi}$ . Kekkilän turvetuotantoalueilla on ollut käytössä Flygt-merkkisiä pumppuja jo vuosia, joten sopiva pumppu valittiin Flygtin valikoimasta. Taulukossa 1 on esitetty eri pumpputyypin energiankulutus vuorokaudessa. Mitoituslaskelmat tehtiin Xylemin Xylect-ohjelmistolla, joka ottaa huomioon putkiston aiheuttamat painehäviöt. Painehäviöiden laskennassa huomioitiin myös kytkinistukan, takaiskuventtiilin ja sulkuventtiilin aiheuttamat häviöt.

TAULUKKO 1. Flygt-pumppujen energiankulutukset vuorokautiseen pumppaustarpeeseen.

| Pumpun tyyppi | Pumpattava vesimäärä, l/s | Pumpun pumppausteho, l/s | Pumppaukseen kuluva aika, h | Pumpun ototeho, W | Energian kulutus, kWh/vrk | Energian kulutus 4kk aikana, kWh | Putkikoko |
|---------------|---------------------------|--------------------------|-----------------------------|-------------------|---------------------------|----------------------------------|-----------|
| DLV 45-6      | 216                       | 4,5                      | 13,3                        | 1150              | 15,3                      | 1840                             | DN90      |
| DXV 35-5      |                           | 4,2                      | 14,3                        | 906               | 12,9                      | 1553                             | DN90      |
| SX-2          |                           | 1,9                      | 31,6                        | 322               | 10,2                      | 1220                             | DN50      |
| SX-3V         |                           | 2,7                      | 22,6                        | 690               | 15,6                      | 1875                             | DN50      |
| SX-5          |                           | 3,5                      | 17,1                        | 897               | 15,4                      | 1845                             | DN50      |
| M 3068        |                           | 3,7                      | 16,2                        | 2047              | 33,2                      | 3983                             | DN40      |
| N 3085        |                           | 23,5                     | 2,6                         | 2162              | 5,5                       | 662                              | DN140     |

DLV- ja DXV-pumput soveltuvat jätevesille, mutta niiden pumppausteho heikkenee kun juoksupyörään kertyy likaa, koska juoksupyörä ei ole itsestään puhdistuva. SX- sarjan pumput ovat tarkoitettu myös likaisille vesille, mutta niiden läpäisemät kiintokappaleet saavat olla maksimissaan 20 mm. M-sarjan pumput ovat repijäpumppuja, jotka ovat tarkoitettu pääosin paineviemärijärjestelmiin. N-sarjan pumput toimivat parhaiten jätevesien pumppauksessa tukkeutumatta ainutlaatuisen itsestään puhdistuvan juoksupyörän ansiosta.

Taulukosta 1 huomataan, että pumppaamoa ei kannata toteuttaa ”jatkuvalle pumppauksella” energiankulutuksen vuoksi. Esimerkiksi SX-3V-pumpussa olisi sopiva tuotto, jolla saavutettaisiin päivittäinen pumppaustarve, mutta energiankulutus on lähes kolminkertainen N-sarjan pumppuun verrattuna. Turvetuotantoalueiden vesien pumppauksessa on lisäksi käytännössä havaittu, että Flygt N-sarjan pumput (kuva 16) ovat toimintavarmoja, joten pumpuksi valittiin yksivaiheinen Flygt N 3085 toimintavarmuutensa ja ylivoimaisesti parhaan hyötysuhteensa vuoksi.



KUVA 16. Flygt N 3085 -pumppu (Xylem Water Solutions N- pumppu 2016)

Pumppaustehon optimoimiseksi ja pumpun todellisen tuoton arvioimiseksi laskettiin erikokoisten putkistojen aiheuttamien painehäviöiden vaikutukset pumppaustehoon, tämä mitoitettiin Xylem Xylect -ohjelmistolla. Taulukosta 2 huomataan, että saman vesimäärän pumppaamiseen kuluu eri kokoisilla putkistoilla eri määrä energiaa. Tämä johtuu kytkinistukassa, takaiskuventtiilissä, sulkuventtiilissä ja putkistoissa syntyvistä painehäviöistä, jotka vaikuttavat vedentuottoon radikaalisti. Putkikoon vaikutus pumppaustehoon tuntui niin suurelta, että mitoituksen oikeellisuus tarkastettiin Xylem Water Solutions

Suomi Oy:n myyntijohtaja Risto Ranbergiltä, joka totesi painehäviölaskelmien periaatteen oikeellisuuden. Putkiston painehäviölaskelmat ja pumpun tuotto- ja tehokäyrät on esitetty liitteissä 1 ja 2.

TAULUKKO 2. Putkiston koon vaikutus pumpun tuottoon.

| Pumppu | Sisäinen putkisto, mm | Purkuputki, mm | Tuotto, l/s | Energian kulutus, kWh/vrk |
|--------|-----------------------|----------------|-------------|---------------------------|
| N 3085 | 80                    | 80             | 14,0        | 9,3                       |
|        | 110                   | 110            | 17,5        | 7,4                       |
|        | 125                   | 125            | 21,0        | 6,2                       |
|        | 140                   | 140            | 23,5        | 5,5                       |

### 5.3 Invertterin valinta

Invertterin valintaan on syytä kiinnittää erityistä huomiota saarekekäytössä, koska inverttereillä on aina jonkin suuruinen lepokulutus joka purkaa akkuja, vaikka invertterillä ei olisi kuormitusta. Invertterin valinnassa tulee huomioida myös akuston jännite, invertterin jatkuva tehontuotto ja piikkiteho.

Invertteriksi valittiin Victron Energy MultiPlus 5000VA -invertteri-laturi-yhdistelmälaite (kuva 17) riittävän hetkellisen huipputehon vuoksi, jota tarvitaan pumpun käynnistyksessä. Invertterissä on myös sisäänrakennettu 70 ampeerin laturi, jolla akkuja voidaan ladata aggregaatin avulla ajanjaksoina, joina aurinkoenergiaa on vähemmän saatavilla. Tärkeimpinä ominaisuuksina voidaan mainita invertterin ensiöjännite 48 V, teho lepotilassa 25 wattia ja maksimihyötysuhde 95 %, muut tekniset tiedot on esitetty taulukossa 3 oikeanpuolimmaisessa sarakkeessa.



KUVA 17. Victron Energy MultiPlus 5000VA -invertteri-laturiyhdistelmä (Victron Energy Inverter-chargers 2016)

TAULUKKO 3. Victron Energy MultiPlus 5000VA invertteri-laturiyhdistelmän tekniset tiedot (Victron Energy Inverter-chargers 2016)

| MultiPlus  | 12/5000/200-100 230V  | 24/5000/120-100 230V | 48/5000/70-100 230V |
|--|---|----------------------|---------------------|
| PowerControl / PowerAssist                             | Yes   |                      |                     |
| AC Input   | Input voltage range: 187-265 VAC    Input frequency: 45 – 65 Hz                             |                      |                     |
| Maximum feed through current (A)                       | 100   |                      |                     |
| Minimum AC supply current capacity for PowerAssist (A) | 6,3   |                      |                     |
| INVERTER   |   |                      |                     |
| Input voltage range (V DC)                             | 9,5 – 17  | 19 – 33              | 38 – 66             |
| Output (1)   | Output voltage: 230 VAC $\pm$ 2%    Frequency: 50 Hz $\pm$ 0,1%                             |                      |                     |
| Cont. output power at 25 °C (VA) (3)                   | 5000  | 5000                 | 5000                |
| Cont. output power at 25 °C (W)                        | 4500  | 4500                 | 4500                |
| Cont. output power at 40 °C (W)                        | 4000  | 4000                 | 4000                |
| Peak power (W)   | 10000   | 10000                | 10000               |
| Maximum efficiency (%)                                 | 94  | 94                   | 95                  |
| Zero-load power (W)                                    | 25  | 25                   | 25                  |
| CHARGER  |   |                      |                     |
| AC Input   | Input voltage range: 187-265 VAC    Input frequency: 45 – 55 Hz<br>Power factor: 1          |                      |                     |
| Charge voltage 'absorption' (V DC)                     | 14,4  | 28,8                 | 57,6                |
| Charge voltage 'float' (V DC)                          | 13,8  | 27,6                 | 55,2                |
| Storage mode (V DC)                                    | 13,2  | 26,4                 | 52,8                |
| Charge current house battery (A) (4)                   | 200   | 120                  | 70                  |
| Charge current starter battery (A)                     | 4   | 4                    |                     |
| Battery temperature sensor                             | Yes   |                      |                     |
| GENERAL  |   |                      |                     |
| Auxiliary output                                       | Max. 50A    Switches off when no external AC source available                               |                      |                     |
| Multi purpose relay (5)                                | Yes, 3x   |                      |                     |
| Protection (2)   | a - g   |                      |                     |
| VE Bus communication port                              | For parallel and three phase operation, remote monitoring and system integration            |                      |                     |
| General purpose comm. port                             | Yes, 2x   |                      |                     |
| Common Characteristics                                 | Operating temp.: -20 to +50°C (fan assisted cooling)<br>Humidity (non condensing) : max 95% |                      |                     |
| ENCLOSURE  |   |                      |                     |
| Common Characteristics                                 | Material & Colour: aluminium (blue RAL 5012)    Protection category: IP 21                  |                      |                     |
| Battery-connection                                     | M8 bolts (2 plus and 2 minus connections)   |                      |                     |
| 230 V AC-connections                                   | M6 bolts  |                      |                     |
| Weight (kg)  | 30  |                      |                     |
| Dimensions (h x w x d in mm)                           | 444 x 328 x 240   |                      |                     |
| STANDARDS  |   |                      |                     |
| Safety   | EN 60335-1, EN 60335-2-29   |                      |                     |
| Emission / Immunity                                    | EN55014-1, EN 55014-2, EN 61000-3-3   |                      |                     |

## 5.4 Paneelien mitoitus

Paneelit tulee mitoittaa päivittäisen energiantarpeen mukaan. Käytännössä tämä tarkoittaa, että paneelien on tuotettava hieman enemmän sähköä kuin akustosta keskimäärin otetaan, että akusto pysyisi jatkuvasti hyvässä varaustasossa.

Tulevaisuuden varalle energian kulutuksessa on huomioitu Ouman Ouflex -logiikka, joka saa käyttöjännitteensä Phoenix Contactin MINI DC UPS:ista (kuva 18). UPS takaa hälytysten jälleenannon tilanteissa, joissa pumppaamon akusto pääsee tyhjenemään.



KUVA 18. Ouman Ouflex -ohjelmoitava logiikka ja Phoenix Contact MINI DC UPS (Ouman, Ouman Ouflex 2016 ja Phoenix Contact MINI DC UPS 2016)

Päivittäinen energiankulutus muodostuu pumpun kuluttamasta energiasta, pumpun ohjauksen sähkökomponenttien energiankulutuksesta, logiikan energiankulutuksesta ja invertterin energiankulutuksesta. Mitoituksessa käytetyt energiankulutukset on esitetty taulukossa 4.

TAULUKKO 4. Päivittäinen energiankulutus.

| Laite                           | Teho, W                | Käyttöaika vuorokaudessa, h | Vuorokautinen kulutus Oumanin kanssa, kWh | Vuorokautinen kulutus ilman Oumania, kWh |
|---------------------------------|------------------------|-----------------------------|---|--|
| Pumppu                          | 2162                   | 2,6                         | 5,52                                      | 5,52                                     |
| Ouman Ouflex                    | 138                    | 24,0                        | 3,31                                      | -  |
| Invertterin häviöt              | n. 15 % kuormituksesta | 24,0                        | 1,32                                      | 0,83                                     |
| Invertterin lepoenergiankulutus | 25                     | 24,0                        | 0,60                                      | 0,60                                     |
| <b>Yhteensä</b>                 |                        |                             | <b>10,76</b>                              | <b>6,95</b>                              |

Vuorokautisen energiankulutuksen perusteella mitoitettiin PVGIS-ohjelmistolla sopiva paneelisto, jonka keskimääräinen vuorokautinen tuotto toukokuusta elokuuhun on suurempi kuin vuorokautinen kulutus. Paneeliston sopiva huipputeho on tässä tapauksessa 3,75 kW<sub>P</sub>. Mikäli Ouman Ouflexiä ei tarvita, niin paneelitehoksi riittää 3 kW<sub>P</sub>. Taulukossa 5 esitetty 3,75 kW<sub>P</sub> paneelisto koostuu viidestätoista 250 W paneelistä ja 3 kW<sub>P</sub> paneelisto koostuu kahdestatoista 250 W paneelistä. Paneelien tuottama keskimääräinen teho on laskettu Parkanoon.

TAULUKKO 5. Vasemmalla 3,75 kW<sub>P</sub> ja oikealla 3 kW<sub>P</sub> paneelien tuottama energia Parkanossa.

| Fixed system: inclination=35°, orientation=0° |       |       |       |       | Fixed system: inclination=35°, orientation=0° |       |       |       |       |
|---|-------|-------|-------|-------|---|-------|-------|-------|-------|
| Month   | $E_d$ | $E_m$ | $H_d$ | $H_m$ | Month   | $E_d$ | $E_m$ | $H_d$ | $H_m$ |
| Jan   | 1.71  | 53.0  | 0.52  | 16.2  | Jan   | 1.37  | 42.4  | 0.52  | 16.2  |
| Feb   | 6.14  | 172   | 1.88  | 52.7  | Feb   | 4.91  | 137   | 1.88  | 52.7  |
| Mar   | 9.24  | 286   | 2.96  | 91.8  | Mar   | 7.39  | 229   | 2.96  | 91.8  |
| Apr   | 13.80 | 413   | 4.67  | 140   | Apr   | 11.00 | 331   | 4.67  | 140   |
| May   | 15.70 | 487   | 5.54  | 172   | May   | 12.60 | 389   | 5.54  | 172   |
| Jun   | 15.30 | 458   | 5.52  | 166   | Jun   | 12.20 | 367   | 5.52  | 166   |
| Jul   | 15.00 | 464   | 5.46  | 169   | Jul   | 12.00 | 371   | 5.46  | 169   |
| Aug   | 11.60 | 359   | 4.16  | 129   | Aug   | 9.28  | 288   | 4.16  | 129   |
| Sep   | 8.19  | 246   | 2.80  | 83.9  | Sep   | 6.55  | 196   | 2.80  | 83.9  |
| Oct   | 4.47  | 139   | 1.46  | 45.2  | Oct   | 3.58  | 111   | 1.46  | 45.2  |
| Nov   | 1.82  | 54.6  | 0.57  | 17.2  | Nov   | 1.45  | 43.6  | 0.57  | 17.2  |
| Dec   | 0.92  | 28.4  | 0.28  | 8.81  | Dec   | 0.73  | 22.7  | 0.28  | 8.81  |
| Yearly average                                | 8.66  | 263   | 2.99  | 91.0  | Yearly average                                | 6.93  | 211   | 2.99  | 91.0  |
| Total for year                                |       | 3160  |       | 1090  | Total for year                                |       | 2530  |       | 1090  |

jossa

$E_d$ = asetetun järjestelmän sähköntuoton päivittäinen keskiarvo (kWh)

$E_m$ = asetetun järjestelmän sähköntuoton kuukausittainen keskiarvo (kWh)

$H_d$ = asetetun järjestelmän päivittäinen säteilysumma asetettuun kulmaan ja ilmansuuntaan neliömetrin alueelle (kWh/m<sup>2</sup>)

$H_m$ = asetetun järjestelmän kuukausittainen säteilysumma asetettuun kulmaan ja ilmansuuntaan neliömetrin alueelle

Aurinkopaneelin tyyppikilvessä ilmoitetut arvot on esitetty alla olevassa taulukossa 6. Taulukon lyhenteiden selitteet on esitetty aiemmin luvussa 4.2.

TAULUKKO 6. Aurinkopaneelin tyyppikilvessä ilmoitetut arvot.

| Victron Energy SPP 250-20 |       |
|---------------------------|-------|
| Power, W                  | 250   |
| V <sub>mpp</sub> , V      | 30    |
| I <sub>mpp</sub> , A      | 8,33  |
| V <sub>oc</sub> , V       | 36,01 |
| I <sub>sc</sub> , A       | 9,4   |

## 5.5 Akuston mitoitus

Akuston tulee ylläpitää järjestelmien toimintaa myös silloin, kun paneelit eivät tuota sähköä esimerkiksi yöaikaan tai hyvin pilvisinä päivinä. Tämän vuoksi akusto tulee ylimerkitä siten, että päivän synkempi jakso ei pura akkuja tyhjäksi. Akuston tyypistä riippuen varaustaso ei saisi laskea alle 40 %, koska akuston syväpurkautuminen lyhentää sen elinikää. Akkujen syväpurkautumisen estämiseksi akuston tilaa valvotaan alijänniterekkeellä, joka estää akuston liiallisen purkautumisen. Häviöiden pienentämiseksi akuston jännitteeksi päätettiin 48 V, jolloin myös invertterin ensiöpuolella, eli akuston ja invertterin välissä virta pysyy järkevällä tasolla.

Kaavoissa 8 ja 9 on laskettu akuston kapasiteetti Oumanin kanssa ja ilman Oumania. Mitoituksessa laskettu päivittäinen energiantarve muutettiin ampeeritunneiksi. Tämän jälkeen ampeerituntimäärä jaettiin maksimipurkautumisprosentilla ja kerrottiin vielä vuorokausilla, jonka aikaa järjestelmän tulee toimia, vaikka latausta ei paneeleilta saada. Tämän ampeerituntimäärän perusteella valitaan sopiva akusto. Toiminta-aikaa ei lähtötiedoissa tarkemmin määritelty, joten ajaksi valittiin kaksi vuorokautta sen vuoksi, että järjestelmä toimii ainakin yhden vuorokauden ilman latausta.

$$Ah_1 = \frac{\frac{E}{U}}{60 \%} \cdot t = \frac{\frac{10760 \text{ Wh}}{48 \text{ V}}}{0,60} \cdot 2 \text{ vrk} = 747 \text{ Ah}, \quad (8)$$

$$Ah_2 = \frac{\frac{E}{U}}{60 \%} \cdot t = \frac{\frac{6950 \text{ Wh}}{48 \text{ V}}}{0,60} \cdot 2 \text{ vrk} = 483 \text{ Ah}, \quad (9)$$

jossa

$Ah_1$  on akuston kapasiteetti Oumanin kanssa (Ah)

$Ah_2$  on akuston kapasiteetti ilman Oumania (Ah)

$E$  on päivittäinen energiankulutus (Wh)

$U$  on akuston jännite (V)

60 % on sallittu akuston purkautuminen

$t$  on haluttu toiminta-aika akustolla (vrk)



Akusto Oumanin Ouflex -logiikan kanssa:

$747 \text{ Ah} / 220 \text{ Ah} = 3,4$  jos pyöristetään kolmeen, niin akuston kapasiteetiksi tulee tällöin  $220 \text{ Ah} \times 3 = 660 \text{ Ah}$ . Akkujen kokonaismäärä on tällöin  $4 \times 3 = 12$  akkua. Mikäli akuston kapasiteetti kasvatetaan  $880 \text{ Ah}$ , niin akkujen kokonaismäärä on  $4 \times 4$  akkua = 16 akkua.

Akuston kapasiteetin ollessa  $660 \text{ Ah}$ , sen käyttöajaksi tulee:

$660 \text{ Ah} \times 0,6 / (10\,760 \text{ Wh} / 48 \text{ V}) = 1,7$  vuorokautta.

Akuston kapasiteetin ollessa  $880 \text{ Ah}$ , sen käyttöajaksi tulee:

$880 \text{ Ah} \times 0,6 / (10\,760 \text{ Wh} / 48 \text{ V}) = 2,3$  vuorokautta.

Akusto ilman Oumanin Ouflex -logiikkaa:

$483 \text{ Ah} / 220 \text{ Ah} = 2,2$  jos pyöristetään kahteen, niin akuston kapasiteetiksi tulee tällöin  $220 \text{ Ah} \times 2 = 440 \text{ Ah}$ . Akkujen kokonaismäärä on tällöin  $4 \times 2 = 8$  akkua. Mikäli akuston kapasiteetti kasvatetaan  $660 \text{ Ah}$ , niin akkujen kokonaismäärä on  $4 \times 3$  akkua = 12 akkua.

Akuston kapasiteetin ollessa  $440 \text{ Ah}$ , sen käyttöajaksi tulee:

$440 \text{ Ah} \times 0,6 / (6\,950 \text{ Wh} / 48 \text{ V}) = 1,8$  vuorokautta.

Akuston kapasiteetin ollessa  $660 \text{ Ah}$ , sen käyttöajaksi tulee:

$660 \text{ Ah} \times 0,6 / (6\,950 \text{ Wh} / 48 \text{ V}) = 2,7$  vuorokautta.

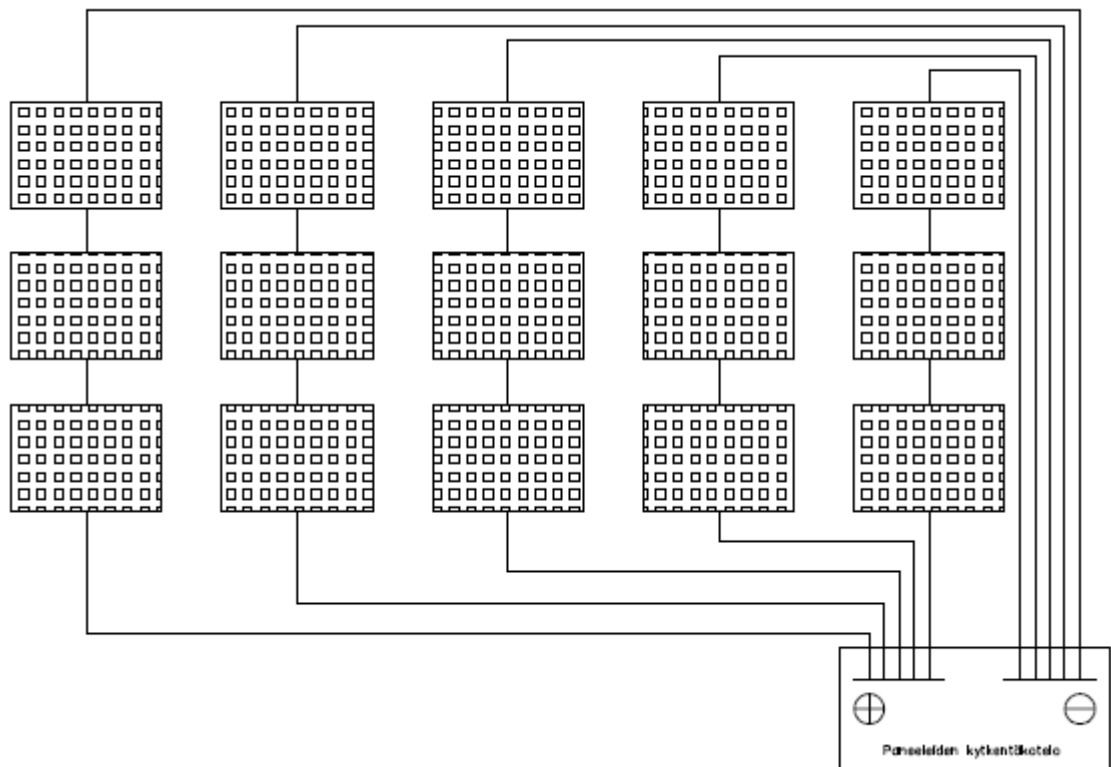
## 5.6 Lataussäätimen valinta

Lataussäätimen valintaan vaikuttaa paneliston koko ja paneelien kytkentä. Oikean lataussäätimen valitsemiseksi käytettiin Victron Energyn laskentaohjelmaa, jolla pystyy valitsemaan käytettävät paneelit ja niiden kytkennät sekä oikeankokoiset lataussäätimet. Paneelien kytkentä kannattaa tehdä siten, että paneeleita kytketään sarjaan niin monta kuin lataussäätimen spekseissä sallitaan. Tällöin jännitetaso saadaan korkeammaksi, virta pienemmäksi ja kaapeloinnissa syntyvät häviöt pienemmiksi.

Victron Energyn lataussäätimissä maksimisisäänmenojännite saa olla 150 voltia, joten paneeleita voidaan kytkeä sarjaan kolme kappaletta. Neljän paneelin sarjakytkentä voi aiheuttaa sisäänmenojännitteen nousun yli 150 volttiin, jolloin lataussäädin menee suojaustilaan ja lopettaa lataamisen. Paneelien rinnankytkentöjen määrää rajoittaa lataussäätimen maksimi sisäänmenovirta. Paneeleilta tuleva virta ei saa olla suurempi kuin lataussäätimen maksimi sisäänmenovirta.

3,75 kW<sub>P</sub> paneelisto kytketään siten, että kolme paneelia asennetaan sarjaan ja näitä sarjaan kytkettyjä paneelistoja kytketään viisi rinnakkain ja ne kytketään lataussäätimeen (kuva 19). Tällöin paneeleilta tuleva jännite on maksimissaan 111,8 voltia ja virta 79,0 ampeeria.

3 kW<sub>P</sub> paneelisto kytketään samalla periaatteella, mutta rinnan kytkettyjä paneelistoja on vain neljä, jolloin jännite pysyy samana kuin edellä, mutta virta on 63,2 ampeeria. Tämän perusteella lataussäätimeksi valittiin Victron Energy Blue Solar MPPT 150/85 lataussäädin, jossa maksimi sisäänmenojännite saa olla 150 voltia ja virta 85 ampeeria.



KUVA 19. 3,75 kW<sub>P</sub> aurinkosähköjärjestelmän paneelien kytkentäperiaate.

## 5.7 Kaapeleiden mitoitus

Kaapeloinnit mitoitetaan DC-puolella riittävän suuriksi häviöiden minimoimiseksi. Kaapeleissa syntyvien häviöiden tulisi olla alle 5 %. Paneeleilta lataussäätimille tulevat kaapelit mitoitetaan aiemmin esitetyllä kaavalla kuusi. Kolme paneelia kytketään sarjaan,

joten virta pysyy sarjakytkenässä yhden paneelin virtana, mutta jännitetaso nousee sarjaan kytkettyjen paneelien summaksi. Viiden sarjaankytketyn paneeliston rinnankytkennän virraksi tulee  $5 \times I_{mpp}$ .

$$A = \frac{l \cdot I_{mpp} \cdot 5}{32} = \frac{15(m) \cdot 8,33(A) \cdot 5}{32} = 19,5 \text{ mm}^2,$$

Kaapeliksi valitaan mitoituksen perusteella vähintään  $25 \text{ mm}^2$  kuparikaapeli. Lataussäätimessä on  $35 \text{ mm}^2$  liittimet, joten kaapeliksi kannattaa asentaa  $35 \text{ mm}^2$  kaapeli, mikäli paneeliston laajentamiseen halutaan varautua. Lisäksi  $35 \text{ mm}^2$  kaapeli on valmistajan suosittelema kaapeli häviöiden minimoimiseksi (taulukko 7).

TAULUKKO 7. Victron Energy Blue Solar 150/85 lataussäätimen ja paneeliston välisten kaapeleiden suositukset (Victron Energy BlueSolar charge controller MPPT 150/85 2016, 8)

| 48V system (solar array up to 4850W) |                                   |  |                  |     |                   |     |                   |     |
|--------------------------------------|-----------------------------------|--|------------------|-----|-------------------|-----|-------------------|-----|
| Solar array<br>MPP-voltage<br>[V]    | Solar array<br>MPP-current<br>[A] | Power loss<br>in PV cables<br>$\alpha$ (%) | Length 2x5 meter |     | Length 2x10 meter |     | Length 2x20 meter |     |
|                                      |                                   |  | mm <sup>2</sup>  | AWG | mm <sup>2</sup>   | AWG | mm <sup>2</sup>   | AWG |
| 72                                   | 67                                | 1  | 25               | 3   | 35                | 2   | Not recommended   |     |
| 90                                   | 54                                | 1  | 16               | 5   | 25                | 3   | 35                | 2   |
| 108                                  | 45                                | 0,75                                       | 16               | 5   | 25                | 3   | 35                | 2   |

Lataussäätimeltä akustoon menevien kaapeleiden mitoitus tehdään kaavalla seitsemän (luku 4.8) lataussäätimien maksimilatausvirralla.

$$A = \frac{l \cdot I}{32} = \frac{4(m) \cdot 85(A)}{16} = 13,3 \text{ mm}^2,$$

Valitaan kaapeliksi lataussäätimeltä akustoon  $16 \text{ mm}^2$ . Valmistajan suositus taulukon 8 mukaan kaapeliksi on  $25 \text{ mm}^2$  häviöiden minimoimiseksi.

TAULUKKO 8. Victron Energy Blue Solar 150/85 lataussäätimen ja akuston välisten kaapeleiden suositukset (Victron Energy BlueSolar charge controller MPPT 150/85 2016, 6)

| 48V system (solar array up to 4850W) |                               |                     |                                    |                 |     |                 |     |                 |     |
|--------------------------------------|-------------------------------|---------------------|------------------------------------|-----------------|-----|-----------------|-----|-----------------|-----|
| Maximum solar array output           | Maximum Charge current @53,6V | Battery Fuse rating | Power loss in battery cables α (%) | Length 2x2,5 m  |     | Length 2x5 m    |     | Length 2x10 m   |     |
|                                      |                               |                     |                                    | mm <sup>2</sup> | AWG | mm <sup>2</sup> | AWG | mm <sup>2</sup> | AWG |
| 1000W                                | 21                            | 35                  | 0,5                                | 6               | 10  | 10              | 7   | 16              | 5   |
| 2000W                                | 42                            | 63                  | 0,5                                | 10              | 7   | 16              | 5   | 35              | 2   |
| 4850W                                | 85A 1)                        | 120                 | 1                                  | 25              | 3   | 25              | 3   | 35              | 2   |

Akuston ja invertterin välinen kaapeli mitoitetaan myös kaavalla seitsemän.

$$A = \frac{l \cdot I}{16} = \frac{3(m) \cdot 204(A)}{16} = 39,0 \text{ mm}^2,$$

Valitaan kaapeliksi 50 mm<sup>2</sup> kaapeli. Valmistajan suosittelema kaapeli on 70 mm<sup>2</sup> taulukon 9 mukaan. Invertterin jälkeiset 230 V kaapeloinnit mitoitetaan tavanomaisesti SFS 6000 standardin mukaan.

TAULUKKO 9. Victron Energy Multi Plus 5000VA invertterin suositellut kaapeli- ja sulakekoot (Victron Energy Multi Plus 5000VA 2016, 8)

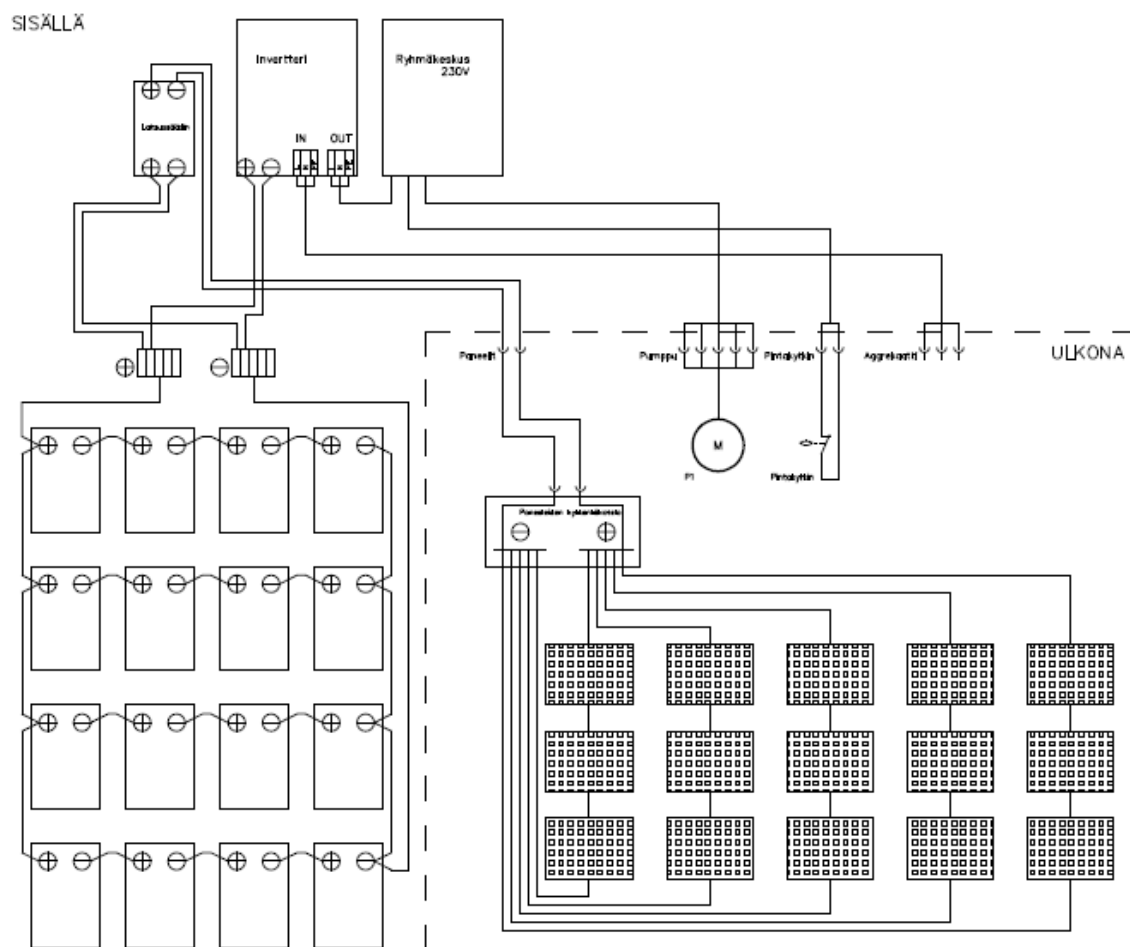
|  | 12/5000/200           | 24/5000/120           | 48/5000/70            |
|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Recommended battery capacity (Ah)  | 800–4200              | 400–1400              | 200–800               |
| Recommended DC fuse  | 750A                  | 400A                  | 200A                  |
| Recommended cross section (mm <sup>2</sup> ) per + and - connection terminal |                       |                       |                       |
| 0 – 5 m  | 2x 90 mm <sup>2</sup> | 2x 50 mm <sup>2</sup> | 1x 70 mm <sup>2</sup> |
| 5 – 10 m   |                       | 2x 90 mm <sup>2</sup> | 2x 70 mm <sup>2</sup> |

## 5.8 Maadoitus

Järjestelmään on syytä asentaa SFS 6000-5-54 mukainen maadoituselektrodi potentiaalintasausvaikutuksen vuoksi, jolla on pienjänniteasennuksen turvallisuuden kannalta keskeinen vaikutus. Maadoituselektrodi on asennettava niin syväälle maahan, että saavutetaan hyvä suojaus mekaanista vaurioitumista vastaan. Maadoituselektrodina voidaan käyttää silmukaksi asennettua kupariköyttä, jonka poikkipinta-ala on vähintään 16 mm<sup>2</sup> ja pituus 40 metriä. Mikäli samaa elektrodia käytetään ukkossuojaukseen, niin poikkipinta-alaa on syytä olla 25 mm<sup>2</sup>. Aurinkopaneelien ukkossuojauksessa on noudatettava valmistajan ohjeita.

## 5.9 Suunnitelman yhteenveto

Suunnitelman selventämiseksi kuvassa 20 on esitetty laitteiston kaaviokuva, jossa näkyy suunnitellun järjestelmän rakenne. Kuvassa ei ole esitetty sulakkeita ja kytkimiä, jotka tulee asentaa valmistajan ohjeen mukaisesti. Laitteisto tulee asentaa kuivaan asennustilaan paneeleita lukuun ottamatta.



KUVA 20. Aurinkosähköjärjestelmän kaaviokuva.

Taulukossa 10 on suuntaa antava hinta-arvio aurinkosähköjärjestelmän osista, joilla pumppaamon tarvitsema sähköenergia voidaan tuottaa. Taulukossa ei ole huomioitu kustannuksia, joita syntyy minkä tahansa pumppaamon sähköistyksestä. Lisäkustannuksia syntyy mm. kaapeleista, suojalaitteista, 230 V ryhmäkeskuksesta, pumpun ohjauskomponenteista, mahdollisesta logiikasta ja muista pienemmistä asennustarvikkeista.

TAULUKKO 10. Suunnitellun pumppausjärjestelmän merkittävimpien osien kustannusarvio.

| Laite          | Merkki         | Malli                 | Lukumäärä, kpl | a' hinta, €/ kpl, alv 0 % | Hinta, € alv 24 % |
|----------------|----------------|-----------------------|----------------|---------------------------|-------------------|
| Invertteri     | Victron Energy | Multi Plus 5000VA     | 1              | 2700                      | 3348              |
| Aurinkopaneeli | SolarXon       | 250-24                | 15             | 230                       | 4278              |
| Akku           | Victron Energy | 12-220                | 16             | 460                       | 9126              |
| Lataussäädin   | Victron Energy | BlueSolar MPPT 150/85 | 1              | 940                       | 1166              |
|                |                |                       |                | <b>Yhteensä</b>           | <b>17918</b>      |

## 6 JÄRJESTELMÄN HUOLTO JA KUNNOSSAPITO

Aurinkosähköjärjestelmän huolto kohdistuu pääosin paneelien puhtaanapitoon. Paneelien puhdistamistiheyteen vaikuttaa paneelien horisontaalinen suuntaus. Kesäisin paneelin pintaan kertynyt turve- ja siitepöly voi aiheuttaa varjostusta paneeliin, jolloin latausteho heikkenee. Mikäli järjestelmää käytettäisiin talvella, niin vastaavasti talvella paneelin pinnalle kertyvä lumi ja jää aiheuttaa samalla tavalla varjostusta ja hyötysuhteen heikkenemistä. Aurinkopaneeli tulisi puhdistaa vedellä tai miedolla pesuaineella keväisin ja syksyisin. Talvisin paneeliin kertynyt lumi tulisi puhdistaa kevyesti harjaamalla.

Akusto itsessään on huoltovapaa, joten siihen kohdistuvia huoltotoimenpiteitä ei ole. Akkujen navat on kuitenkin syytä pitää puhtaana ja poistaa mahdollisimmat hapettumat, jotka vaikuttavat virran kulkuun negatiivisesti. Talveksi akut ladataan täyteen ja varastoidaan tasalämpöiseen, mieluusti viileähköön tilaan. Kuormitusten pääkytkin asetetaan 0-asentoon purkautumisen välttämiseksi, akusto voidaan myös täysin irtikytkeä, jolloin vältetään kokonaan pieniltäkin vuotovirroilta.

Akuston käyttöikä määräytyy käytön mukaan, oleellisimmin akkujen käyttöikään vaikuttaa todelliset purkaussyvyydet ja niiden määrä. Käyttöikään vaikuttaa myös akuston lämpötila taulukon 11 mukaisesti.

TAULUKKO 11. Lämpötilan vaikutus Victron Energy AGM Deep Cycle akun elinikään (Victron Energy batteries 2016, 1)

| Average Temperature | AGM Deep Cycle<br>years |
|---------------------|-------------------------|
| 20 °C / 68 °F       | 7 - 10                  |
| 30 °C / 86 °F       | 4                       |
| 40 °C / 104 °F      | 2                       |

Todennäköisesti akusto joudutaan uusimaan paneelien eliniän aikana kerran tai useammin riippuen todellisista käyttöolosuhteista. Järjestelmän todelliseksi elinkaareksi voidaan arvioida noin 20–25 vuotta. Paneelien elinikä voi olla jopa 30 vuotta, mutta lataussäädin rikkoutuu todennäköisesti aiemmin.

## 7 POHDINTA

Työn tavoitteena oli suunnitella aurinkosähköllä toimiva laitteisto, jota voidaan käyttää Kekkilä Oy:n turvetuotantoalueilla veden pumppaamisessa pienjänniteverkon ulkopuolella. Työn lopputuloksena tuotettiin suunnitelma aurinkosähkölaitteistosta. Lisäksi järjestelmän laitevalinnat on perusteltu siten, että lukija pääsee ymmärrykseen siitä, miksi kyseiset valinnat on tehty. Työn tavoitteet saavutettiin järjestelmän suunnittelussa hyvin.

Opinnäytetyössä perehdyttiin yleisesti aurinkosähköjärjestelmän rakenteeseen saarekekäytössä. Työn perusteella on mahdollista ymmärtää millaisista osista kokonainen järjestelmä koostuu. Aurinkopaneeleilta saatavan energian määrä perustuu Euroopan komission laatimaan PVGIS-laskentaohjelmistoon, joka perustuu kolmenkymmenen vuoden ajalta kerättyyn auringonsäteilyn keskiarvotilastoon. Todellisuudessa järjestelmän tuotto voi aurinkoisina päivinä olla huomattavasti suurempi ja pilvisinä päivinä huomattavasti pienempi ja myös vuosivaihtelut voivat olla merkittäviä.

Työssä havaittiin, että pumppaamon toteuttaminen aurinkosähköllä on mahdollista kohdalaisen pienellä, alle 4 kW<sub>P</sub> järjestelmällä, koska käyttöaika rajoittuu toukokuun alusta elokuun loppuun, jolloin auringosta saadaan paljon energiaa. Akusto muodostaa merkittävän suuren osan kokonaisinvestoinnista, joten akuston eliniän maksimoimiseksi syväpurkauksia tulee välttää ja akuston varaustila kannattaa pitää jatkuvasti korkeana.

Järjestelmän asennuksessa tulee huomioida monia asioita. Kaapeloinnit ja liitokset on mitoitettava riittävän suuriksi tasajännitepuolella häviöiden minimoimiseksi. Tämä tulee huomioida erityisesti aurinkopaneelien ja lataussäätimen välillä, akuston ja lataussäätimen välillä sekä akuston ja invertterin välillä, koska näissä kulkee suuria virtoja. Paneelien kytkentävaiheessa paneelit on peitettävä, etteivät ne tuota jännitettä. Paneeliston ja lataussäätimen välinen kaapeli on suojattava mekaaniselta vaurioitumiselta ja estettävä paneeliston ja lataussäätimen välisen kaapeloinnin irrottaminen virrallisena.

Järjestelmän alustana toimiva ympäristö täytyisi suunnitella sen jälkeen, kun kokoonpanoon käytettävät komponentit on päätetty, mikäli järjestelmä aiotaan toteuttaa. Akuston paino on helposti lähellä 1000 kg ja paneelien paino määrästä riippuen 250- 300 kg, mikä aiheuttaa omat haasteensa järjestelmän siirrettävyydelle. Yksi vaihtoehtoinen asennuspaikka voisi olla merikontin pätkä, johon laitteet sijoitettaisiin ja johon myös paneelit



mahtuisivat kuljetuksen ajaksi. Paneeleille pitäisi tehdä maanvarainen asennusteline, johon paneelit saisi keväällä kiinnitettyä, kun pumppaamon sijoituspaikka on päätetty.

Tulevaisuudessa työn perusteella voisi laskea myös järjestelmän elinkaarikustannuksia ja vertailla aurinkosähköä energian tuotantomuotona muihin sähkön tuotantomuotoihin. Kyseessä oli aurinkosähköllä toimivan pumppaamon pilot-laitteiston suunnittelu, joten elinkaarikustannuksia ei laskettu. Nämä alueet rajattiin tämän työn ulkopuolelle, koska tarkoituksena oli nimenomaan aurinkosähköön liittyvien suunnitelmien ja mitoitusien tuottaminen.

## LÄHTEET

Eko Torppa 2016. Luettu 7.1.2016.

[http://www.ekotorppa.fi/images/kuvat/aurinkopaneeli\\_ohutkalvo\\_105W\\_aurinkosahko\\_798.jpg](http://www.ekotorppa.fi/images/kuvat/aurinkopaneeli_ohutkalvo_105W_aurinkosahko_798.jpg)

EP Solar 2016. MPPT solar charge controller. Luettu 13.1.2016.

[http://www.epsolarpv.com/en/index.php/Product/pro\\_content/id/573/am\\_id/136](http://www.epsolarpv.com/en/index.php/Product/pro_content/id/573/am_id/136)

Erikoistekniikka Invertterilaturi 2016. Luettu 13.1.2016.

<http://www.erikoistekniikka.fi/tuote/invertteri-laturi-3000w-victron-energy-multi-plus/5006010240/>

Eurosolar 2016. Hybridijärjestelmät. Luettu 4.1.2016.

<http://www.eurosolar.fi/hybridijarjestelmat/>

Eurosolar Tuoteluettelo 2015. Luettu 28.11.2015.

<http://www.eurosolar.fi/tuoteluettelo/eurosolar-tuoteluettelo-2015.pdf>

Finnwind Aurinkoenergiaopas 2013. Luettu 1.12.2015.

<http://www.finnwind.fi/aurinko/Aurinkoenergiaopas-Finnwind.pdf>

Finnwind Aurinkosähkö ostajan muistilista 2015. Luettu 3.12.2015.

<http://www.finnwind.fi/aurinkoenergia>

Ilmastoinfo Aurinkopaneelien sijoittaminen ja suuntaus 2016. Luettu 12.1.2016.

<http://ilmastoinfo.fi/aurinkosahkoakotiin/miten/huomioitavaa/>

JRC Europe 2015. Luettu 17.11.2015.

[http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmaps/eu\\_cmsaf\\_opt/PVGIS\\_EU\\_201204\\_presentation.png](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmaps/eu_cmsaf_opt/PVGIS_EU_201204_presentation.png)

JRC Finland 2015. Luettu 17.11.2015.

[http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmaps/eu\\_cmsaf\\_opt/G\\_opt\\_FI.png](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmaps/eu_cmsaf_opt/G_opt_FI.png)

Kekkilä Group 2016. Luettu 25.11.2015.

<http://www.kekkila.fi/kekkila-group>

Kekkilä Oy. Kokous Parkanossa 17.2.2016. Viitanen Riku, Laaksonen Arto, Koivula Joni.

Motiva, Auringon säteilyn määrä Suomessa 2015. Luettu 17.11.2015.

[http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/aurinkosahkon\\_perusteet/auringonsateilyn\\_maara\\_suomessa](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringonsateilyn_maara_suomessa)

Motiva Auringosta sähköä 2014. Luettu 17.11.2015.

[http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/aurinkosahkon\\_perusteet/auringosta\\_sahkoa](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringosta_sahkoa)

Motiva. Aurinkopaneelien asentaminen 2014. Luettu 1.12.2015.

[http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/hankinta\\_ja\\_asennus/aurinkopaneelien\\_asentaminen](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/hankinta_ja_asennus/aurinkopaneelien_asentaminen)

Motiva. Aurinkosähköjärjestelmän teho 2014. Luettu 17.11.2015.

[http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/jarjestelman\\_valinta/aurinkosahkojarjestelman\\_teho](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/aurinkosahkojarjestelman_teho)

NA Clean Energy 2012. Luettu 19.1.2016.

<http://www.nacleanenergy.com/articles/13081/selecting-the-best-battery-forrenewable-energy-applications>

OAMK 2014. Aurinkosähköjärjestelmän suunnittelu. Luettu 27.11.2016.

[http://www.oamk.fi/toolbox/fileuploads/assuunnittelu\\_0514.pdf](http://www.oamk.fi/toolbox/fileuploads/assuunnittelu_0514.pdf)

Ouman Ouflex 2016. Luettu 15.3.2016.

<http://ouman.fi/palvelut/rakennusautomaatio/outflex-jarjestelma/>

Phoenix Contact 2016. Luettu 15.3.2016.

<https://www.phoenixcontact.com/online/portal/us?urlile=pxc-oc-itemdetail:pid=2866640>

REPS Aurinkopaneelit. Luettu 22.1.2016

<http://www.reps.fi/fi/frames-prod-panels-fi.htm>

REPS Lataussäädin ABC 2013. Luettu 3.12.2015

<http://www.reps.fi/datasheetsandmanuals/REPS-MPPT-lataussaadin-ABC.pdf>

Solar Innova 2016. Yksikiteinen piikennopaneeli 45W. Luettu 22.1.2016.

<http://www.solarinnova.net/fi/tuotteet/aurinkosahko/aurinkopaneelit/ei-standardi/yksikiteinen/45w>

Solar Innova 2016. Monikiteinen piikennopaneeli 45W. Luettu 22.1.2016.

<http://www.solarinnova.net/fi/tuotteet/aurinkosahko/aurinkopaneelit/ei-standardi/monikiteisia/45w>

Suntekno Aurinkoenergia 2010. Luettu 12.11.2015.

<http://www.suntekno.fi/resources/public/tietopankki/aurinkoenergia.pdf>

Suntekno aurinkopaneelit 2010. Luettu 15.1.2015.

<http://www.suntekno.fi/resources/public/tietopankki/paneelit.pdf>

Suntekno Tiesitkö tämän 2016. 11.2.2016

<http://www.suntekno.fi/resources/public/tietopankki/paneelit.pdf>

Suomen Aurinkoenergia Oy 2016. Luettu 25.11.2015.

<http://suomenaurinkoenergia.fi/?q=aurinkoenergia>

Thermosun akut 2016. Luettu 19.1.2016.

<http://www.thermosun.fi/Akut>

Victron Energy batteries 2016. Luettu 17.3.2016.

<https://www.victronenergy.com/upload/documents/Datasheet-GEL-and-AGM-Batteries-EN.pdf>

Victron Energy BlueSolar charge controller MPPT 150/85 2016. Luettu 17.3.2016.

<https://www.victronenergy.com/solar-charge-controllers/bluesolar-mppt-150-85#manual>

Victron Energy Inverter- chargers 2016. Luettu 15.3.2016.

<https://www.victronenergy.com/inverters-chargers/multiplus-12v-24v-48v-800va-3kva>

Victron Energy Multi Plus 5000VA. Luettu 17.3.2016.

<https://www.victronenergy.com/inverters-chargers/multiplus-12v-24v-48v-800va-3kva#manuals>

## **LIITTEET**

Liite 1. Pumpun mitoituslaskelma

Liite 2. Putkiston mitoituslaskelma





## NP 3085 MT 1~ Adaptive 462



## Ominaiskäyrä

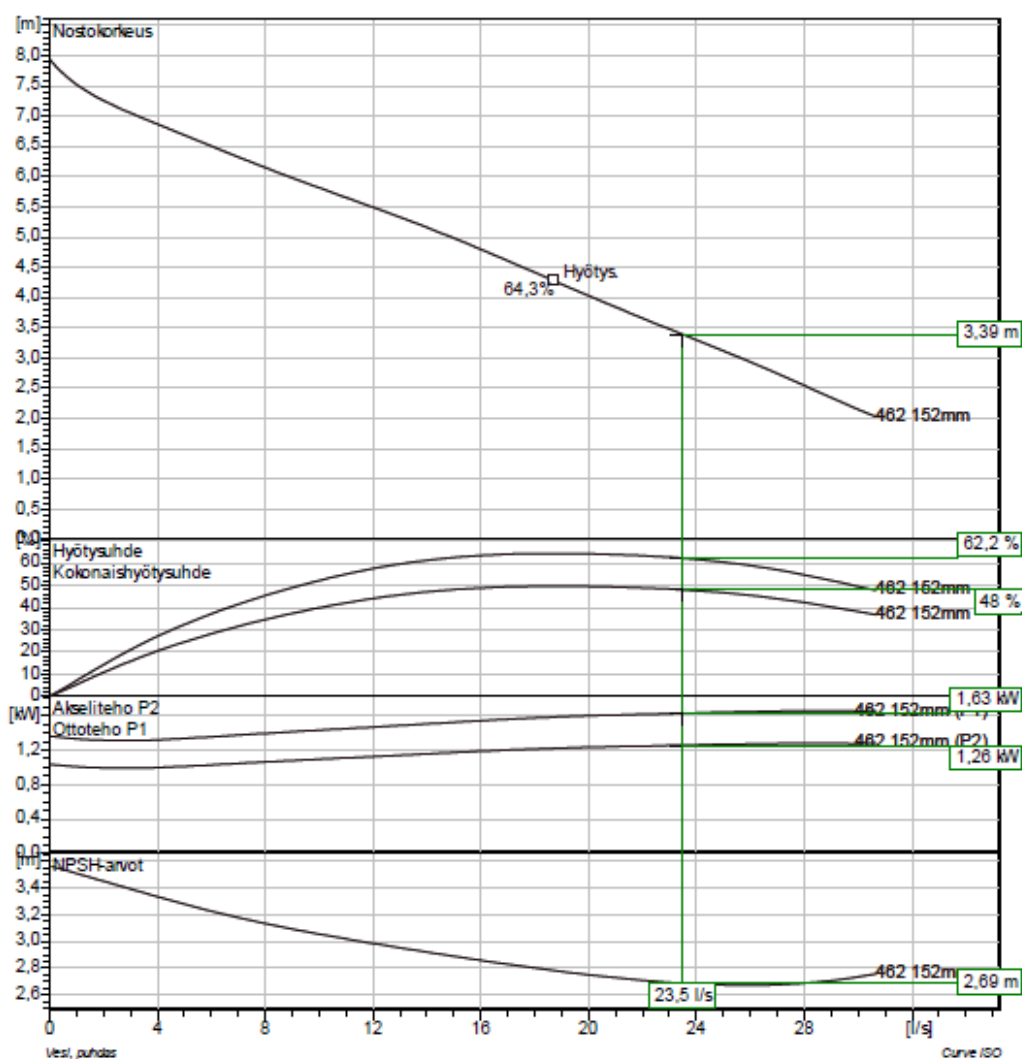
## Pumppu

Painelähtö 80 mm  
Inlet diameter 80 mm  
Impeller diameter 152 mm  
Number of blades 2

## Motor

Motor# N3085.160 15-10-4AL-W 1.5KW  
Stator variant 14  
Taajuus 50 Hz  
Nimellisjännite 230 V  
Napaluku 4  
Phases 1~  
Nimellisteho 1,5 kW  
Nimellisvirta 9,4 A  
Käynnistysvirta 43 A  
Nimelliskierronluku 1425 1/min

Tehokemoin  
1/1 Load 0,90  
3/4 Load 0,87  
1/2 Load 0,81  
Hyötysuhde  
1/1 Load 78,5 %  
3/4 Load 78,5 %  
1/2 Load 71,0 %



|          |                 |             |                     |                   |
|----------|-----------------|-------------|---------------------|-------------------|
| Projekti | Projektinnumero | Käsittelija | Tehty               | Muutettu viimeksi |
|          |                 |             | 2016-02-24 10:14:00 |                   |



## Liite 2. Putkiston mitoituslaskelma.



|                                  |              |                 |                       |         |        |         |
|----------------------------------|--------------|-----------------|-----------------------|---------|--------|---------|
| Pumpattava aine                  | Vesi, puhdas | Number of pumps | 1                     |         |        |         |
| Virtausmäärä                     | 23,5 l/s     | Aseman tyyppi   | Vakiopumppu           |         |        |         |
| Staatinen nostokorkeus           | 2 m          | Layout          | Wet well installation |         |        |         |
| Viskositeetti                    | 1,57 mm²/s   | Laskentamalli   | Colebrook             |         |        |         |
| Painehäviö                       |              |                 |                       |         |        |         |
| Common discharge side pipe       |              |                 |                       |         |        |         |
| Putki 1 (5)                      |              |                 |                       |         |        |         |
| Tyyppi                           | Ø / mm       | ? or L          | Lkm.                  | v / m/s | k / mm | H / m   |
| Discharge connection: DN 140     | 115          | 0,3             | 1                     | 2,28    |        | 0,07937 |
| Elbows: DN 140                   | 115          | 0,3             | 1                     | 2,28    |        | 0,07937 |
| Yksisuuntaventtiilit: DN 140     | 115          | 0,9             | 1                     | 2,28    |        | 0,2381  |
| Venttiili: DN 140                | 115          | 0,3             | 1                     | 2,28    |        | 0,07937 |
| Putki: PEM/PEH New DN 140 / PN16 | 115          | 2 m             | 1                     | 2,28    | 0,2    | 0,1096  |
| Kokonaiskorkeushäviö             |              |                 |                       |         |        | 0,5858  |
| Putki 2 (2)                      |              |                 |                       |         |        |         |
| Tyyppi                           | Ø / mm       | ? or L          | Lkm.                  | v / m/s | k / mm | H / m   |
| Putki: PEM/PEH New DN 140 / PN16 | 115          | 10 m            | 1                     | 2,28    | 0,2    | 0,5479  |
| Outlet: DN 140                   | 115          | 1               | 1                     | 2,28    |        | 0,2646  |
| Kokonaiskorkeushäviö             |              |                 |                       |         |        | 0,8125  |
| Päinehäviö                       |              |                 |                       |         |        | 1,4 m   |
| Staatinen painekorkeus           |              |                 |                       |         |        | 2       |
| Kokonaisnostokorkeus             |              |                 |                       |         |        | 3,4 m   |